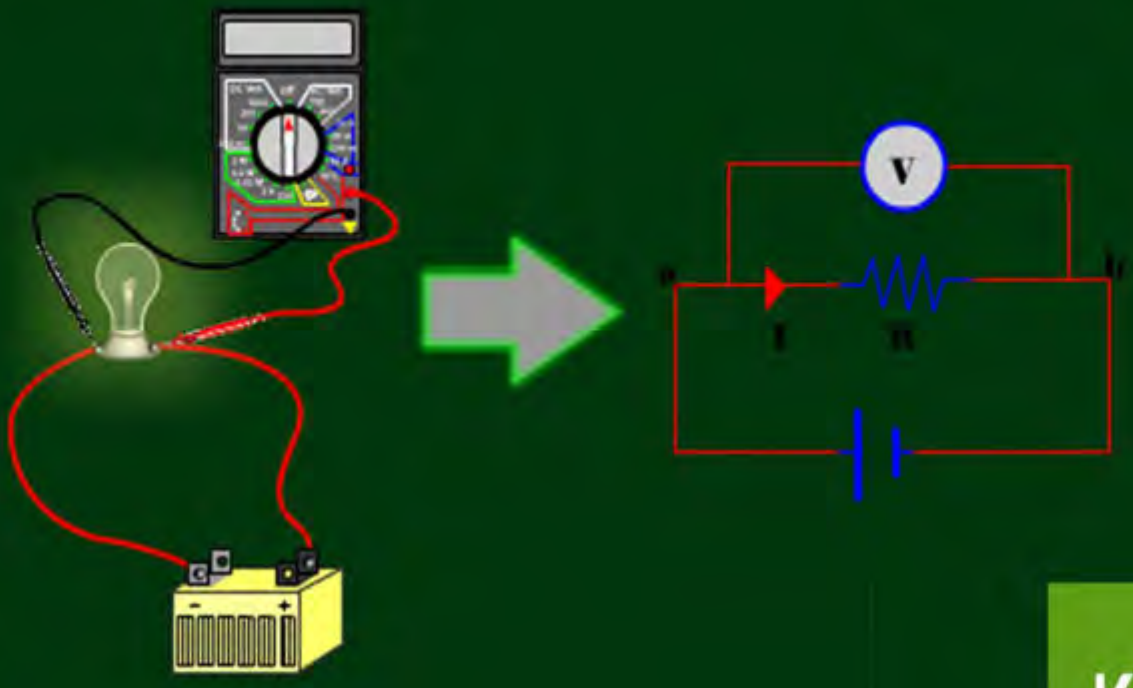
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
REPUBLIK INDONESIA
2013

KURIKULUM 2013

DASAR DAN PENGUKURAN LISTRIK

Semester 1



Kelas
X

Kontributor Naskah:

MH Sapto Widodo

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Di dalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. Buku Siswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus dilakukan peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus dilakukan peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014
Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

DAFTAR ISI

I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengetahuan, keterampilan dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Buku bahan ajar dengan judul Dasar dan Pengukuran Listrik ini merupakan dasar program keahlian yang digunakan untuk mendukung pembelajaran pada mata pelajaran Dasar dan Pengukuran Listrik 1, untuk SMK Program Keahlian Teknik Ketenagalistrikan yang diberikan pada kelas X semester 1.

Buku ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, yang dijabarkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar. Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam Kurikulum 2013, siswa diberanikan untuk mencari dari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dari lingkungan sosial dan alam.

Buku ini disusun di bawah koordinasi Direktorat Pembinaan SMK, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, dan dipergunakan dalam tahap awal penerapan Kurikulum 2013. Buku ini merupakan "dokumen hidup" yang senantiasa diperbaiki, diperbaharui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya.	1.1. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai aturan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik. 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik. 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik.
3. Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1. Menerapkan konsep listrik (arus dan potensial listrik) 3.2. Menentukan bahan-bahan listrik 3.3. Menenetukan sifat rangkaian listrik arus searah dan rangkaian peralihan 3.4. Menerapkan teorema rangkaian listrik arus searah 3.5. Menentukan daya dan energi listrik 3.6. Menentukan kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan listrik 3.7. Menentukan kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya 3.8. Menentukan kondisi operasi pengukuran tahanan (resistan) listrik

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
	3.9. Menentukan kondisi operasi pengukuran besaran listrik dengan oskiloskop 3.10. Menentukan peralatan ukur listrik untuk mengukur besaran listrik. 3.11. Menerapkan hukum-hukum rangkaian rangkaian listrik arus bolak-balik 3.12. Menerapkan hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnitan 3.13. Menentukan kondisi operasi dan spesifikasi piranti-piranti elektronika daya dalam rangkaian elektronik 3.14. Menentukan kondisi operasi dan spesifikasi rangkaian digital dasar
4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung	4.1. Mendemonstrasikan konsep listrik (gejala fisik arus listrik dan potensial listrik) 4.2. Memeriksa bahan-bahan listrik 4.3. Memeriksa sifat elemen pasif dalam rangkaian listrik arus searah dan rangkaian peralihan 4.4. Menganalisis rangkaian listrik arus searah 4.5. Memeriksa daya dan energi listrik 4.6. Memeriksa kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan listrik 4.7. Memeriksa kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan listrik 4.8. Memeriksa kondisi operasi pengukuran tahanan listrik 4.9. Memeriksa kondisi operasi pengukuran besaran listrik dengan oskilsokop 4.10. Mendemonstrasikan penggunaan peralatan ukur listrik untuk mengukur besaran listrik 4.11. Memeriksa rangkaian listrik arus bolak-balik 4.12. Memeriksa rangkaian kemagnitan 4.13. Memeriksa kondisi operasi dan spesifikasi piranti-piranti elektronika daya dalam rangkaian listrik 4.14. Memeriksa kondisi operasi dan spesifikasi rangkaian digital dasar

C. Silabus

Satuan Pendidikan : SMK
Program keahlian : Teknik Ketenagalistrikan
Paket Keahlian : Teknik Pendingin & Tata Udara
Mata Pelajaran : Dasar dan Pengukuran Listrik
Kelas /Semester : X

Kompetensi Inti:

KI 1 : Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya
KI 2 : Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.
KI 3 : Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.
KI 4 : Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
Semester 1					
1.1. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai aturan dalam melaksanakan					

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik					
2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik. 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dalam melaksanakan					

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik. 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik.					
3.1. Menerapkan konsep listrik yang berkaitan dengan gejala fisik arus dan potensial listrik. 4.1. Mendemonstrasikan konsep listrik (arus dan potensial listrik)	• Arus listrik • potensial listrik	**Mengamati:** Mengamati gejala fisik muatan listrik, arus elektron, arus listrik dan potensial listrik. **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang konsep listrik **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : konsep listrik **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan hubungan	**Kinerja:** Pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang rangkaian listrik arus searah **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: konsep listrik. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas	10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian Listrik, William Hayt Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		antara muatan listrik, arus listrik, dan potensial listrik, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan penerapan konsep listrik **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: muatan listrik, arus listrik dan muatan listrik secara lisan dan tulisan	Tugas: Memeriksa gejala fisik muatan listrik, arus listrik, dan potensial listrik		
3.2. Menentukan bahan-bahan listrik 4.2. Memeriksa bahan-bahan listrik	Bahan-bahan listrik - konduktor - isolator - bahan semikonduktor	**Mengamati:** Mengamati bahan-bahan listrik dari segi jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilai konduktor, isolator, dan semikonduktor. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas:	10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian Listrik, William Hayt Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengomunikasikan: Menyampaikan hasil faktualisasi tentang: jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya	Memeriksa jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilai konduktor, isolator, dan semikonduktor		
3.3. Menentukan sifat elemen pasif dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan 3.3. Memeriksa sifat elemen pasif dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan	• Elemen pasif rangkaian listrik - resistor dan resistansi - induktor dan induktansi - kapasitor dan kapasitansi • Memeriksa Rangkaian resistor - seri - paralel - kombinasi - Hukum Ohm - Hukum Kirchoff • Memeriksa Rangkaian Peralihan Seri RC	**Mengamati:** Mengamati gejala fisik elemen pasif, danparameter rangkaian dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan serta daya dan energi listrik **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang gejala fisik elemen pasif, dan parameter rangkaian dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan serta daya dan energi listrik **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : gejala fisik elemen pasif, danparameter rangkaian dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan. **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : gejala fisik elemen pasif, dan parameter rangkaian dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan .	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang rangkaian listrik arus searah **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: elemen pasif da elemen aktif serta parameter rangkaian listrik arus searah. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Memeriksa parameter rangkaian listrik arus searah	3 x 10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian Listrik, William Hayt Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengomunikasikan: Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: gejala fisik elemen pasif, dan parameter rangkaian dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan secara lisan dan tulisan			
3.4. Menerapkan Teorema Rangkaian Listrik arus searah 4.4. Menganalisis Rangkaian listrik Arus searah	• Teorema Superposisi • Teorema Dua kutub • Transfer daya maksimum • Teori Maxwell • Transformasi star-delta dan sebaliknya • Jembatan Wheatstone	**Mengamati:** Mengamati berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta **Portofolio:** Laporan	3 x 10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian Listrik, William Hayt Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		maksimum dan transformasi star-delta **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta secara lisan dan tulisan	penyelesaian tugas Tugas: Menganalisis berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta		
3.5. Menentukan daya dan konsumsi energi listrik 3.5. Memeriksa daya dan konsumsi energi listrik	• Daya listrik • Energi listrik	**Mengamati:** Mengamati fenomena daya dan konsumsi energi listrik **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang daya dan konsumsi energi listrik **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang daya dan konsumsi energi listrik **Mengasosiasi:** Mengolah data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan daya dan konsumsi energi listrik	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang konsep dan feneomena daya dan energi listrik **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait konsep dan fenomena daya dan energi lsitrik. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Memeriksa nilai daya dan energi	10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengomunikasikan: Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: daya dan energi listrik secara lisan dan tulisan	lsitrik		
3.6. Menentukan kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan listrik 4.6. Mengoperasikan Alat ukur arus dan tegangan listrik	1. Pembacaan nilai ukur 2. Kondisi operasi Pengukuran arus dan tegangan - besi putar, - kumparan putar, - desain ampermeter - desain voltmeter	**Mengamati:** Mengamati kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang: kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan nilai ukur dan ketelitiannya selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil pengukuran besaran listrik terkait dengan kondisi operasi pengukuran arus dan	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: elemen kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Memeriksa kondisi	2 x 10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter.	operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter.		
3.7. Menentukan kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya 4.7. Memeriksa kondisi pengukuran daya, energi, dan faktor daya listrik	• Pengukuran daya listrik -elektrodinamis -desain wattmeter - pengukuran daya tiga fasa • Pengukuran energi listrik - Ferraris - induksi • Pengukuran daya reaktif dan faktor daya	**Mengamati:** Mengamati kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang: kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan nilai ukur dan ketelitiannya selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis,	2 x 10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil pengukuran besaran listrik terkait dengan Pembacaan nilai ukur dari alat ukur analog dan digital, kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi	disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Memeriksa kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi		
3.8. Menentukan kondisi operasi pengukuran tahanan (resistan) listrik 4.8. Mengoperasikan Alat ukur tahanan listrik	Pengukuran tahanan listrik • Ohmmeter - Ohmemter seri - Ohmmeter paralel • Jembatan wheatstone	**Mengamati:** Mengamati kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang: kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Mengeksplorasi:**	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone	10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan nilai ukur dan ketelitiannya selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil pengukuran besaran listrik terkait dengan kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone	**Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone		
3.9. Menentukan kondisi operasi oskiloskop 4.9. Mengoperasikan oskilsokop	Oskiloskop analog - Pemancar elektron - Penguat vertikal - Penguat horisontal - Generator waktu - Trigerring dan bias waktu Oskiloskop digital - ADC - DAC - Penyimpan elektronik	**Mengamati:** Mengamati kondisi operasi oskiloskop untuk pengukuran tegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous. **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang: kondisi operasi oskiloskop untuk pengukuran tegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous. **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek kondisi operasi oskiloskop untuk pengukuran tegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous. **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: kondisi operasi oskiloskop	10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
	Pengukuran dengan Oskilsoskop - Pengukuran tegangan DC - Pengukuran tegangan AC, periode, dan frekuensi - Pengukuran arus AC - Pengukuran Beda Fasa - Metoda Lissajous	pertanyaan yang diajukan tentang : kondisi operasi oskiloskop untuk pengukuran tegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous. **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan nilai ukur dan ketelitiannya selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : kondisi operasi oskiloskop untuk pengukuran tegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous. **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil pengukuran besaran listrik terkait dengan kondisi operasi oskiloskop untuk pengukuran tegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous.	untuk pengukuran tegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: kondisi operasi oskiloskop untuk pengukuran tegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous.		
3.10. Menentukan peralatan ukur listrik untuk mengukur besaran listrik 4.10. Mendemonstasikan penggunaan peralatan ukur listrik untuk mengukur besaran- besaran listrik	• Pengukuran besaran listrik: - terminologi - sistem satuan - Kerja Proyek	**Mengamati:** Mengamati terminologi yang digunakan dalam pengukuran besaran listrik dan sistem satuan yang digunakan dalam pengukuran listrik **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang: terminologi yang digunakan dalam pengukuran besaran listrik dan sistem satuan yang digunakan dalam pengukuran listrik **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : terminologi yang	**Kinerja:** Pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek menggunakan alat ukur listrik **Tes:** Tes tertulis mencakupi prinsip dan penggunaan alat ukur listrik **Tugas:** Kerja proyek Pengukuran besaran listrik	3 x 10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		digunakan dalam pengukuran besaran listrik dan sistem satuan yang digunakan dalam pengukuran listrik serta melakukan percobaan pengukuran listrik melalui kerja proyek **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menafsirkan, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan hasil kerja proyek yang dilakukannya **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil kerja proyek tentang: pengukuran arus, tegangan, daya, faktor daya,dan energi listrik secara lesan dan tulisan	**Portofolio:** Laporan kegiatan belajar secara tertulis dan presentasi hasil kegiatan belajar		

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
Semester 2					
3.11. Menerapkan hukum-hukum rangkaian listrik arus bolak-balik 4.11. Memeriksa rangkaian listrik arus bolak-balik	• Analisa rangkaian sinusoida - tegangan dan arus sinusoida - nilai sesaat - nilai maksimum - nilai efektif (RMS) • Respon elemen pasif - resistor (sefasa) - induktor (lagging) - kapasitor (leading) • Rangkaian seri/paralel RL • Rangkaian seri/paralel RC • Rangkaian seri/paralel RLC • Resonansi • daya dan faktor daya • sistem tiga fasa - hubungan bintang - hubungan segitiga • Fasor dan bilangan komplek	**Mengamati:** Mengamati hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang : hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : hukum-hukum dan	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang berbagai hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa.	4 x 10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian Listrik, William Hayt • Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. secara lesan dan tertulis	**Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Menganalisis rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa.		
3.12. Menerapkan hukum-hukum rangkaian kemagnetan 3.12. Menganalisis rangkaian kemagnetan	• Rangkaian kemagnetan - kemagnetan listrik - induksi kemagnetan - induktansi diri - induktansi bersama	**Mengamati:** Mengamati hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang : hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit,	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama	3 x 10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian Listrik, William Hayt • Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama	**Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Menganalisis rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama		
3.13. Menentukan kondisi operasi dan spesifikasi piranti-piranti elektronika daya dalam rangkaian elektronik	• Teori semi konduktor • PN Junction (diode) • BJT (transistor, IGBT) • Thyristor (SCR,	**Mengamati** : fenomena dan prinsip-prinsip: • PN Junction (diode) • BJT (transistor, IGBT) • Thyristor (SCR, TRIAC) • Rangkaian terintegrasi (IC) • Operational Amplifier	**Kinerja:** Pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek menggunakan piranti elektronik **Tes:**	3 x 10 JP	•

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
4.13. Memeriksa kondisi operasi dan spesifikasi piranti-piranti elektronika daya dalam rangkaian listrik.	TRIAC) • Rangkaian terintegrasi (IC) • Operational Amplifier • Rangkaian penyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier)	• Rangkaian penyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier) **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang : PN Junction (diode), BJT (transistor, IGBT), Thyristor (SCR, TRIAC), Rangkaian terintegrasi (IC), Operational Amplifier, Rangkaian penyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier). **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : PN Junction (diode), BJT (transistor, IGBT), Thyristor (SCR, TRIAC), Rangkaian terintegrasi (IC), Operational Amplifier, Rangkaian penyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier). **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : PN Junction (diode), BJT (transistor, IGBT), Thyristor (SCR, TRIAC), Rangkaian terintegrasi (IC), Operational Amplifier, Rangkaian penyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier).	Tes tertulis mencakupi prinsip dan penggunaan piranti elektronik **Tugas:** Perakitan rangkaian kontrol elektronik **Portofolio:** Laporan kegiatan belajar secara tertulis dan presentasi hasil kegiatan belajar		

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengkomunikasikan : Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: PN Junction (diode), BJT (transistor, IGBT), Thyristor (SCR, TRIAC), Rangkaian terintegrasi (IC), Operational Amplifier, Rangkaian penyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier) , secara lesan dan tertulis.			
3.14. Menentukan kondisi operasi dan spesifikasi rangkaian digital dasar 4.14. Memeriksa kondisi operasi dan spesifikasi rangkaian digital dasar	• Sistem bilangan • Gerbang digital - AND -OR -Not • Rangkaian Dasar digital -NOR -NAND -XOR -Flip-flop -Register	**Mengamati** fenomena dan prinsip-prinsip sistem bilangan, gerbang digital, dan rangkaian dasar digital meliputi NOR, NAND, XOR, Flip-flop, dan register **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang fenomena dan prinsip-prinsip sistem bilangan, gerbang digital, dan rangkaian dasar digital meliputi NOR, NAND, XOR, Flip-flop, dan register **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : fenomena dan prinsip-prinsip sistem bilangan, gerbang digital, dan rangkaian dasar digital meliputi NOR, NAND, XOR, Flip-flop, dan register **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan	**Kinerja:** Pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek menggunakan dan memeriksa rangkaian digital dasar **Tes:** Tes tertulis mencakupi prinsip dan penggunaan rangkaian digital dasar **Tugas:** Pemeriksaan dan perakitan rangkaian digital dasar **Portofolio:** Laporan kegiatan belajar secara tertulis dan presentasi hasil kegiatan belajar	4 x 10 JP	•

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : fenomena dan prinsip-prinsip sistem bilangan, gerbang digital, dan rangkaian dasar digital meliputi NOR, NAND, XOR, Flip-flop, dan register **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: fenomena dan prinsip-prinsip sistem bilangan, gerbang digital, dan rangkaian dasar digital meliputi NOR, NAND, XOR, Flip-flop, dan register secara lesan dan tertulis.			

D. Rencana Aktivitas Belajar

Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan ilmiah. Langkah-langkah pendekatan ilmiah dalam proses pembelajaran meliputi menggali informasi melaui pengamatan, bertanya, percobaan, kemudian mengolah data atau informasi, menyajikan data atau informasi, dilanjutkan dengan menganalisis, menalar, kemudian menyimpulkan, dan mencipta.

Pada buku ini, seluruh materi yang ada pada setiap kompetensi dasar diupayakan sedapat mungkin diarahkan untuk mencapai kompetensi inti, yaitu memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang dasar listrik dan pengukuran listrik melalui kegiatan mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari apa yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.

Buku ini sebagai bahan ajar bagi siswa untuk mata pelajaran "Dasar dan Pengukuran Listrik 1" ini, digunakan untuk memenuhi kebutuhan minimal pembelajaran pada kelas X, semester satu, mencakupi kompetensi dasar 3.1 dan 4.1 sampai dengan 3.10. dan 4.10, yang terbagi menjadi enam kegiatan belajar, yaitu (1) Mendemonstrasikan konsep listrik (arus dan potensial listrik), (2) Memeriksa Bahan-bahan listrik, (3) Memeriksa sifat elemen pasif Rangkaian Listrik Arus Searah, dan rangkaian peralihan (4)Menganalisis rangkaian listrik arus searah, (5) Memeriksa Daya dan Energi Listrik, (6) Menentukan Kondisi Operasi pengukuran arus dan tegangan listrik, (7) Memeriksa kondisi operasi daya dan energi listrik, (8) Memeriksa kondisi operasi pengukuran Tahanan listrik, (9) Memeriksa kondisi operasi pengukuran dan analisa besaran lidtrik dengan osilskop, (10) Mendemonstrasikan penggunaan Peralatan Ukur Listrik untuk mengukur besaran listrik.

II. PEMBELAJARAN

A. Kegiatan Belajar 1

Menerapkan Arus dan Potensial Listrik

Dalam mata pelajaran IPA SMP, kalian telah belajar tentang energi dan sumber energi. Tentunya kalian masih ingat apakah energi itu? Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha (kerja) atau melakukan suatu perubahan. Sumber energi adalah segala sesuatu yang menghasilkan energi, yang diklasifikasi menjadi sumber energi yang terbarukan dan sumber energi tidak terbarukan. Energi memiliki berbagai bentuk seperti energi potensial, energi kinetik, energi mekanik, energi listrik, dan lain lain. Sesuai dengan hukum kekekalan energi, energi tidak dapat dihilangkan, tetapi hanya dapat dipindahkan atau diubah menjadi energi lain.

Pada kegiatan belajar 1 ini, kalian akan memperdalam tentang energi listrik, dengan menyelami fenomena listrik statis dan listrik dinamis.Sebelum berlanjut ke masalah yang lebih substansial, ada satu masalah yang kadang masih menimbulkan kebingungan dalam pemahaman antara istilah listrik (*electricity*) dan elektronik (*electronic*). Dapatkan kalian memperjelas masalah tersebut?

Electronic merupakan cabang dari ilmu fisika yang mencakupi perangai dan dampak dari adanya pergerakan atau perpindahan elektron di dalam tabung vakum (*vacuum tube*), perilaku gas, dan bahan semikonduktor. Sedang listrik merupakan cabang ilmu fisika menyangkut fenomena alam. Listrik dapat diketahui hanya melalui dampak atau efek yang ditimbulkan oleh muatan listrik, arus listrik, medan listrik, dan magnet listrik. Listrik biasanya mengacu kepada pembangkitan tenaga listrik, transmisi tenaga listrik, dan pemanfaatan tenaga listrik. Sedang elektronik biasanya berhubungan dengan penggunaan listrik daya rendah (arus lemah) untuk mengontrol rangkaian atau sirkit berdaya besar (arus kuat).

1. Konsep Arus Listrik

Listrik merupakan cabang ilmu fisika menyangkut fenomena alam. Sehingga untuk memperdalam energi listrik, maka perlu menyelami fenomena alam yang dikenal dengan listrik statis. Listrik dapat diketahui hanya melalui dampak atau efek yang ditimbulkan oleh muatan listrik, arus listrik, medan listrik, dan magnet listrik.

1.1. Muatan Listrik dan Fenomena Listrik Statis

Dalam menjalani perikehidupan manusia modern, seringkali kita melihat dan bahkan merasakan adanya fenomena listrik statis (elektrostatis).Tahukah kalian, bahwa listrik telah ditemukan sejak manusia mulai mengamati efek yang timbul dari dua buah benda yang saling digosokkan. Bahkan, mungkin kita pernah merasakan seperti sengatan pada kaki kita setelah berjalan di atas karpet yang terbuat dari nilon.

Kita juga sering melihat fenomena alam yang kadang sangat dahsyat, yakni petir atau halilintar.Peristiwa-peristiwa tersebut di atas merupakan gejala dari listrik statis. Listrik statis adalah gejala tentang interaksi rnuatan listrik yang tidak bergerak atau tidak bergerak secara permanen.

Mengamati fenomena alam

Perhatikan dan amati fenomena alam berikut ini:

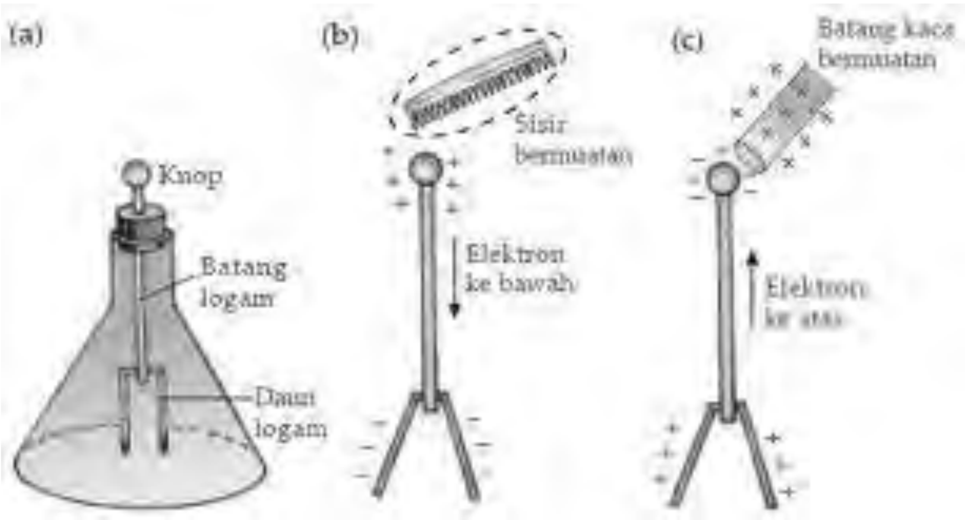


(a) (b) (c)

Gambar 1.1 Femomena listrik statis

Dengan penalaran yang lebih mendalam, pertanyaan berikut ini akan muncul di benak kita. Bagaimana dan mengapa fenomena alam seperti itu terjadi? Untuk lebih menyelami hal tersebut, tentunya kalian masih ingat, ketika melakukan percobaan dengan menggunakan alat elektroskop seperti diperlihatkan pada

Gambar 1.2. Elektroskop adalah alat yang dapat digunakan untuk mengetahui ada tidaknya muatan listrik pada suatu benda.



Gambar 1.2 Percobaan dengan Elektroskop

Diskusi 1:

Kali ini kalian harus mendiskusikan pengetahuan faktual yang dapat kalian jumpai dalam kehidupan sehari-hari yakni fenomena listrik statis seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.1 dan Gambar 1.2. Diskusikan dengan teman sekelompokmu untuk menjawab pertanyaan mendasar yaitu Apa, bagaimana, dan mengapa terkait dengan fenomena listrik statis. Untuk itu kalian harus mencari informasi-informasi yang terkait dengan masalah tersebut melalui membaca materi pelajaran dalam buku bahan ajar ini, dan melalui sumber-sumber informasi lain, yang dapat kalian peroleh dari buku sekolah elektronik, dari majalah ilmiah populer, atau dari situs-situs pendidikan lewat internet! Presentasikan hasil penemuanmu di kelas agar dapat dibahas dengan kelompok lain. Kemudian buatlah laporan pelaksanaan kegiatan secara indidu.

1.2. Teori Atom

Dengan mengkaji teori atom ini secara lebih intensif kalian akan memperdalam pengetahuan konseptual yang telah kalian miliki sebelumnya. Thales Militus, seorang ilmuwan Yunani, menemukan gejala listrik yang diperoleh dengan menggosok batu ambar, yang dalam bahasa Yunani disebut elektron. Setelah digosok ternyata batu ambar tersebut dapat menarik benda-benda kecil yang berada di dekatnya. Sifat seperti ini dalam ilmu listrik disebut elektrifikasi. Listrik yang terjadi pada batu ambar yang digosok disebut listrik statis yaitu listrik yang tidak mengalir.

Seluruh benda atau materi, yang dalam kondisi normal berwujud padat seperti besi, kayu dan pakaian, atau yang berwujud cairan seperti air dan minyak, atau yang berwujud gas seperti udara dan uap air merupakan komposisi dari berbagai substansi yang membentuk obyek secara fisik. Pada hakekatnya materi terdiri dari substansi dasar yang disebut elemen atau unsur. Ada 110 unsur yang telah ditemukan oleh para ahli di jagat raya ini. Unsur yang membentuk suatu materi terdiri dari atom. Atom merupakan partikel terkecil dari suatu unsur yang dapat berdiri sendiri atau berupa tunggal dan dapat pula eksis berupa kombinasi atau campuran dari berbagai unsur. Semua materi terdiri dari atom-atom sejenis atau kombinasi dari beberapa atom-atom, dan seluruh atom merupakan struktur listrik.

Suatu zat terdiri atas partikel-partikel kecil yang disebut atom. Atom berasal dari kata *atomos*, yang artinya tidak dapat dibagi-bagi lagi. Tetapi, dalam perkembangannya ternyata atom ini masih dapat diuraikan lagi. Atom terdiri atas dua bagian, yaitu inti atom dan kulit atom. Inti atom bermuatan positif, sedangkan kulit atom terdiri atas partikel-partikel bermuatan negatif yang disebut elektron. Inti atom tersusun dari dua macam partikel, yaitu proton yang bermuatan positif dan netron yang tidak bermuatan (netral).

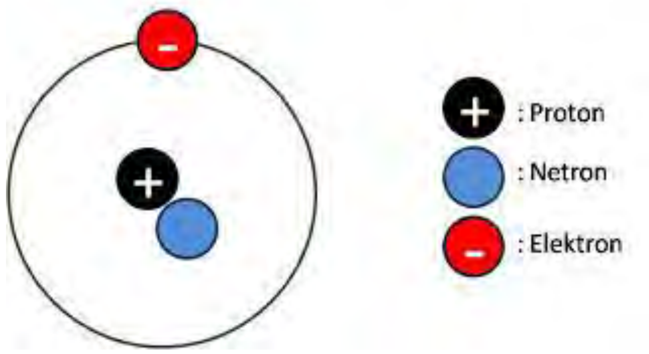
Nukleus terletak pada pusat atom, oleh karena itu sering disebut sebagi inti atom. Nukleus terdiri dari proton dan neutron. Muatan listrik yang dimiliki oleh proton sama dengan muatan yang dimiliki oleh elektron tetapi berbeda polaritas.

Elektron bermuatan negatif, sedang proton bermuatan positif. Jumlah proton pada nukleus yang membedakan unsur satu dengan unsur lainnya.

Suatu atom terdiri dari:

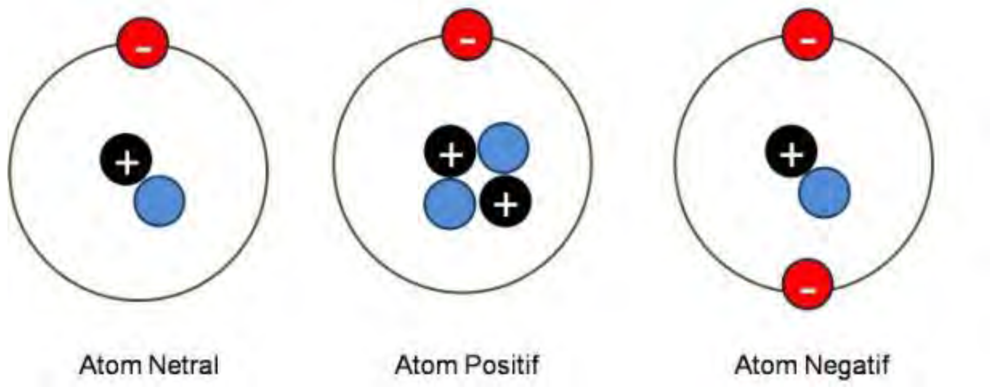
- Inti atom yang disebut nukleus. Nukleus terdiri dari dua partikel yang berkaitan dengan erat, disebut proton yang bermuatan positif dan neutron tidak bermuatan.
- Elektron yang bermuatan negatif, yang pergerakannya berbentuk elip mengitari inti atom. Elektron yang terletak pada lintasan paling luar disebut elektron bebas.

Suatu atom dikatakan netral apabila di dalam intinya terdapat muatan positif (proton) yang jumlahnya sama dengan muatan negatif (elektron) pada kulitnya.



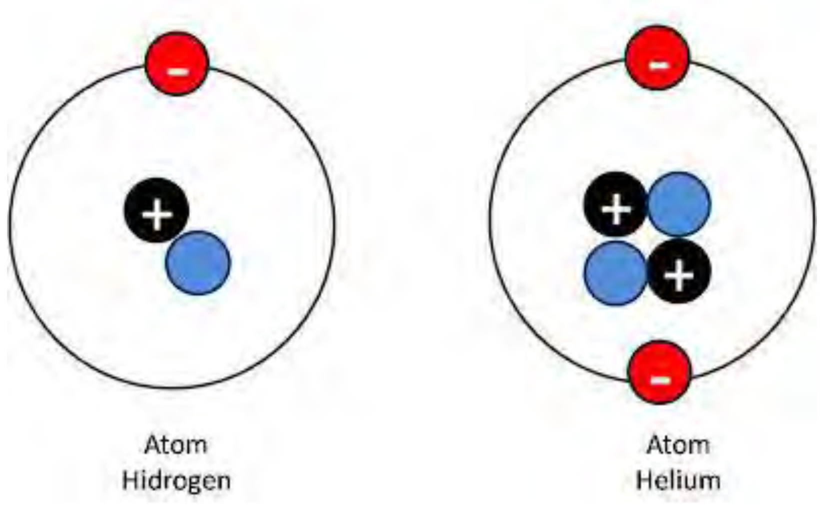
Gambar 1.3 Susunan sebuah Atom

Suatu atom dikatakan bermuatan positif apabila jumlah muatan positif (proton) pada inti lebih banyak daripada muatan negatif (elektron) pada kulit atom yang mengelilinginya. Suatu atom dikatakan bermuatan negatif apabila jumlah muatan positif (proton) pada inti lebih sedikit daripada jumlah muatan negatif (elektron) pada kulit atom.



Gambar 1.4 Susunan Atom Positif, Negatif, dan Netral

Atom yang paling sederhana adalah atom hidrogen yang hanya tersusun dari satu proton dan satu elektron. Karena jumlah proton dan elektronnya sama, maka atom hidrogen dikatakan sebagai atom netral. Atom helium terdiri dari dua proton, dua neutron dan dua elektron. Karena jumlah proton dan jumlah elektronnya sama, maka atom helium juga dikatakan sebagai atom netral.



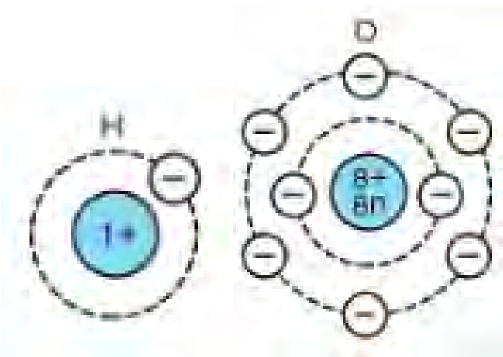
Gambar 1.5 Susunan atom, hidrogen, dan helium

1.3. Fenomena Gaya Listrik

Setelah mempelajari struktur atom dengan seksama, telah mengantarkan kalian pada pengetahuan konseptual yang masih terkait dengan pengetahuan sebelumnya,

yaitu muatan listrik. Muatan listrik merupakan istilah yang cukup penting dalam dunia kelistrikan. Muatan listrik merupakan sifat fisik dari setiap benda. Menurut Benyamin Franklin, muatan listrik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu muatan positif dan muatan negatif.

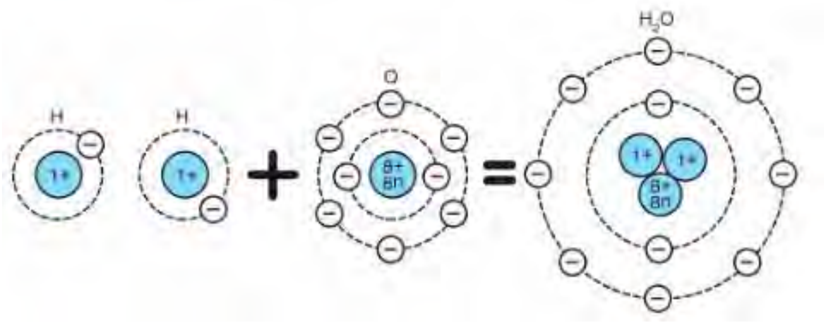
Semua benda baik padat, gas, dan cair, terdiri dari partikel-partikel kecil yang disebut molekul-molekul. Molekul-molekul sendiri terbentuk oleh partikel-partikel yang lebih kecil lagi yang disebut atom-atom. Benda di mana molekul-molekulnya terdiri dari atom-atom yang sama, lazim disebut sebagai unsur. Bila atom-atom yang membentuk molekul tidak sama, disebut campuran. Sebagai contoh, struktur atom hydrogen terdiri dari satu proton, dan satu elektron, atom oksigen terdiri dari delapan proton, delapan neutron, dan delapan elektron. Gambar 1.6 memperlihatkan struktur atom hydrogen dan oksigen.



(a) (b)

Gambar 1.6 Struktur atom hydrogen (a) dan atom oksigen (b)

Air terbentuk dari molekul-molekul air. Satu molekul air (H2O) merupakan komposisi dari dua unsur atom, yaitu dua atom hidrogen (H) dan satu atom oksigen (O). Susunan molekul air diperlihatkan dalam Gambar 1.7.



Gambar 1.7 Komposisi molekul air (H20)

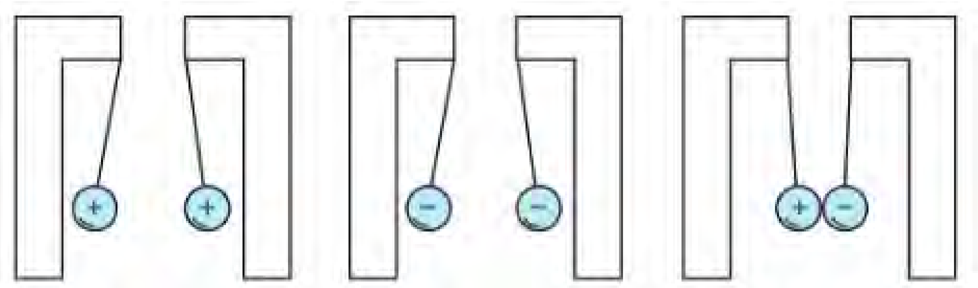
Muatan listrik merupakan sifat alami yang dimiliki oleh beberapa partikel sub atom, yang akan menetukan interaksi elektromagnetiknya. Muatan listrik suatu benda dapat dipengaruhi dan menghasilkan medan elektromagnet. Interaksi antara pergerakan muatan listrik dan medan elektromagnetik merupakan sumber gaya elektromagnetik. Atom yang kehilangan atau mendapat tambahan elektron dianggap tidak stabil. Kelebihan elektron pada suatu atom menghasilkan muatan negatif. Kekurangan elektron pada suatu atom akan menghasilkan muatan positif. Muatan listrik yang berbeda akan bereaksi dalam berbagai cara. Dua partikel yang bermuatan negatif akan saling tolak menolak, demikian juga dua partikel yang bemuatan positif.

Dari eksperimen dapat dibuktikan bahwa muatan listrik dapat dikuantifikasi, yakni nilai muatan satu elektron sebesar 1.602×10^{-19}. Karena bermuatan negatif maka lazim disingkat dengan -e, dan untuk proton disingkat menjadi +e karena bermuatan positif. Istilah ion dikenakan pada pada suatu atom atau kelompok atom yang kehilangan satu atau lebih elektron, sehingga menghasilkan muatan positif (lazim disebut sebagai kation) pada atomnya.Sebaliknya suatu atom atau kelompok atom yang mendapatkan tambahan elektron sehingga bermuatan negatif (lazim disebut sebagai anion).

Sifat-sifat penting dari proton dan elektron:
- Masa proton adalah 1,66 x 10^{-27} kg.
- Masa elektron adalah 9,1096 x 10^{-31} kg.

- Muatan listrik diukur dalam satuan coulomb (C), di mana 1 coulomb sama dengan jumlah muatan yang dimiliki oleh 6,24 x 10^{18} elektron.
- Muatan dari satu elektron adalah e = 1,602 x 10^{-19} Coulomb.
- Jumlah elektron pada setiap atom benda berlainan. Misalnya jumlah elektron pada tembaga adalah 29.
- Pada suatu benda, jika jumlah muatan positip dan muatan negatif sama maka benda tersebut menjadi netral.

Dari eksperimen menggunakan elektroskop, dapat dilihat bahwa bila ada dua muatan positif yang berdekatan akan terjadi gaya tolak-menolak, demikian juga bila ada dua muatan negatif yang berdekatan. Bila muatan positif berdekatan dengan muatan negatif maka akan timbul gaya tarik-menarik.



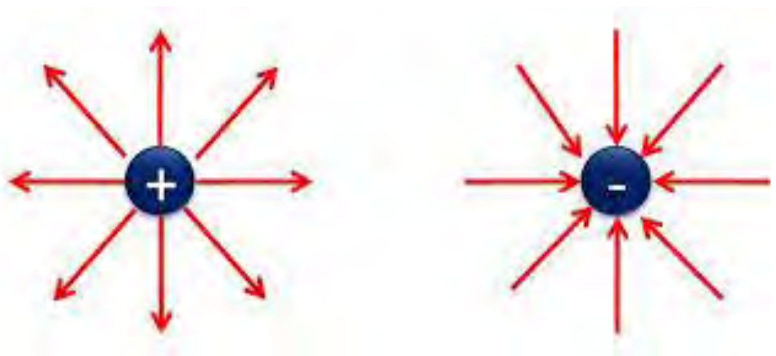
Gambar 1.8 Gaya tolak dan gaya tarik listrik

Fenomena gaya listrik merupakan pengetahuan faktual yang ada di dunia listrik statis. Gaya listrik yang dimaksudkan di sini adalah gaya tolak dan gaya tarik yang timbul pada suatu atom tunggal atau kelompok atom. Gaya tersebut dapat timbul karena adanya kelebihan atau kekurangan jumlah elektron pada atom tersebut. Bila salah satu atom bermuatan positif dan ada atom lain yang bermuatan negatif maka terjadi gaya tarik antar keduanya. Sebaliknya bila kedua atom bermuatan sama maka terjadi gaya tolak antar keduanya.Fenomena gaya listrik yang terjadi pada atom bermuatan tentu telah menimbulkan pertanyaan yang sangat menarik. Bagaimana dan mengapa bisa terjadi seperti itu?

Diskusi 2: Diskusikan dengan teman sekelompokmu untuk menjawab pertanyaan mendasar yaitu apa, bagaimana, dan mengapa terkait dengan fenomena gaya listrik. Untuk itu kalian harus mencari informasi-informasi yang terkait dengan masalah tersebut melalui membaca materi pelajaran dalam buku bahan ajar ini, dan melalui sumber-sumber informasi lain, yang dapat kalian peroleh dari buku sekolah elektronik, dari majalah ilmiah populer, atau dari situs-situs pendidikan lewat internet! Presentasikan hasil penemuanmu di kelas agar dapat dibahas dengan kelompok lain. Kemudian buatlah laporan pelaksanaan kegiatan secara indidu.

1.4. Medan Listrik

Kalian sudah lebih memahami sifat muatan listrik. Untuk memperjelas fenomena sifat muatan listrik, kalian harus mengkaji pengetahuan konseptual terkait dengan istilah medan listrik. Setiap benda yang bermuatan listrik, pasti akan memancarkan garis-garis gaya listrik, ke segala arah seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.9.

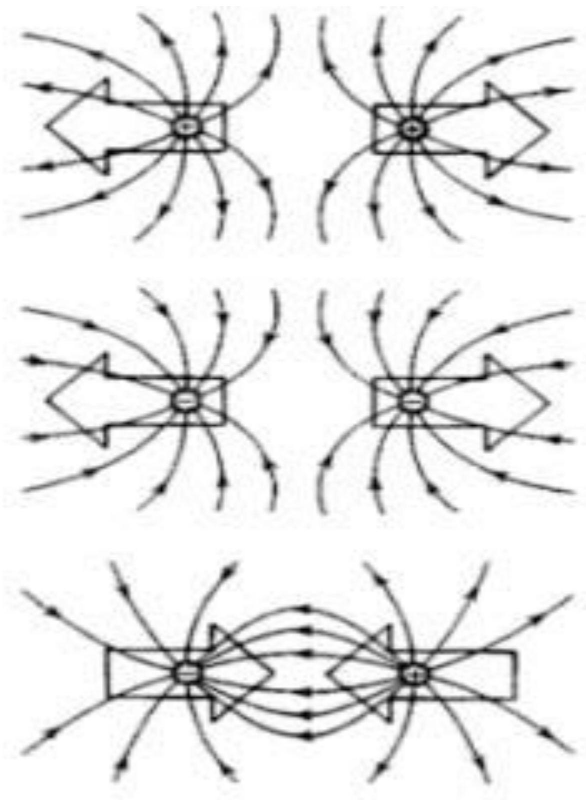


Gambar 1.9 Garis-garis gaya listrik

Pada benda bermuatan positif, maka garis-garis gaya listrik akan memancar keluar benda, sedang pada benda bermuatan negatif, garis-garis gaya listrik menuju ke dalam. Medan listrik adalah daerah di sekitar benda bermuatan listrik yang masih dipengaruhi oleh gaya listrik. Medan listrik digambarkan dengan garis-garis gaya listrik.

Sifat-sifat garis-garis gaya listrik

Garis gaya listrik berasal dari muatan positif menuju muatan negatif. Garis gaya listrik tidak pernah berpotongan. Semakin rapat garis gaya listrik, semakin kuat medan listriknya. Gambar 1.10 memperlihatkan interaksi garis-garis gaya listrik yang terjadi pada dua benda yang bermuatan. Dari fenomena ini tentunya kalian akan dapat memperjelas fenomena sifat muatan listrik.



Gambar 1.10 Sifat garis-garis gaya listrik

1.5. Hukum Coulomb

Dengan menyelami interaksi elektrostatis dan susunan atom, akan mengantarkan kalian pada pengetahuan konseptual yang lebih dalam tentang fenomena muatan listrik. Muatan listrik adalah suatu sifat dasar alam yang dipengaruhi oleh struktur atom. Benjamin Franklin memberi penandaan pada kedua jenis muatan listrik sebagai muatan positif dan muatan negatif. Hal ini hanya merupakan sekedar

penandaan, positif dan negatif bukan dalam pengertian lebih kecil atau lebih dari nol. Muatan positif dan negatif adalah sifat yang saling melengkapi atau komplementer.

Dalam suatu atom atau benda, apabila jumlah muatan positif (berasal dari proton) sama dengan muatan negatif (berasal dari elektron), maka atom atau benda tersebut tidak bermuatan (netral). Akan tetapi, mengingat elektron suatu atom atau benda dapat berpindah, maka dalam suatu atom bisa terjadi jumlah muatan positif (proton) tidak sama dengan jumlah muatan negatif (elektron). Dengan perkataan lain, muatan dari suatu benda ditentukan oleh jumlah proton dan elektronnya. Untuk mengetahui apakah suatu benda bermuatan listrik atau tidak, digunakan alat yang dinamakan elektroskop.

Sebuah balon yang digosok-gosokkan pada sehelai kain akan menempel pada badan kita. Dua buah balon yang digosok-gosokkan pada kain yang sama akan tolak-menolak. Hal ini merupakan bukti fundamental bahwa muatan yang sejenis akan tolak-menolak, sedangkan muatan yang tidak sejenis akan tarik-menarik. Pakaian yang saling menempel pada saat diambil dari pengering, debu yang menempel pada layar TV atau komputer, kejutan kecil pada saat memegang gagang pintu dari logam, merupakan contoh listrik statis.

Gaya listrik yang merupakan tarikan atau tolakan ini pertama kali diselidiki oleh seorang fisikawan besar Perancis bernama Charles Coulomb (1736 1806), pada akhir abad 18. Fisikawan tersebut menemukan bahwa gaya antara muatan bekerja sepanjang garis yang menghubungkan keduanya dengan besar yang sebanding dengan besar kedua muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak. Hasil pengamatan ini melahirkan hukum Coulomb yang secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Di mana:

F = gaya coulomb (dalam satuan newton),

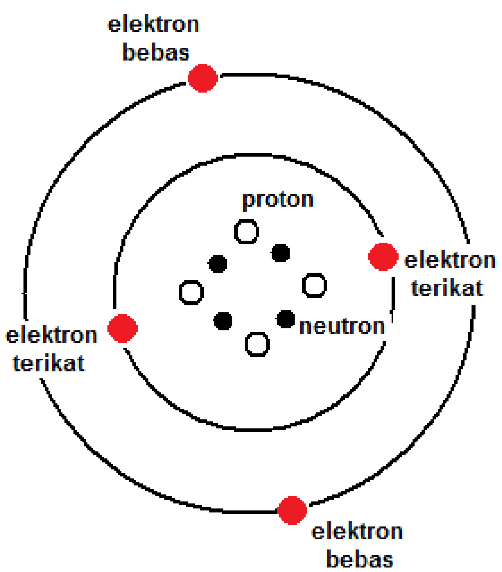
Ql, Q2 = muatan masing-masing partikel (dalam satuan Coulomb),

r = jarak antara kedua muatan (dalam satuan meter),

k = tetapan elektrostatis untuk ruang hampa(9.10^9 $N.m^2/C^2$)

Setelah mendalami muatan listrik dan hukum Coulomb, tentunya kalian sudah lebih yakin atas fenomena listrik statis. Seperti yang sudah kalian ketahui, bahwa setiap atom biasanya memiliki jumlah proton dan elektron yang sama. Misalnya atom hidrogen memiliki satu proton dan satu elektron.Atom oksigen memiliki depalan proton dan delapan elektron. Bila kondisi tersebut eksis, maka muatan listrik atom tersebut menjadi netral, karena jumlah muatan positif sama dengan jumlah muatan negatif. Tetapi dalam kondisi tertentu, maka muatan dalam suatu atom dapat menjadi tidak seimbang, hal ini dapat terjadi bila suatu atom kehilangan berapa elektronnya.

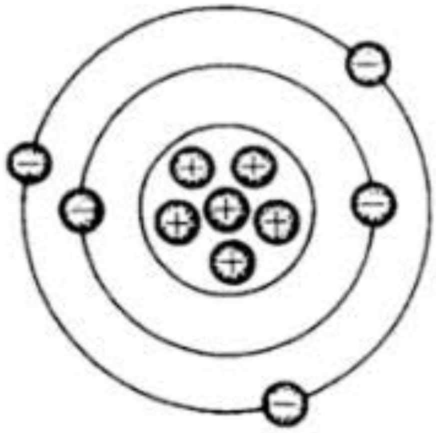
Dalam kasus ini maka atom yang kehilangan elektronnya akan bermuatan positif, dan atom lain yang menerima tambahan elektron akan bermuatan negatif karena muatan negatifnya lebih besar dari muatan positif. Jadi dalam suatu atom, muatan listrik akan timbul jika jumlah proton tidak sama dengan jumlah elektron.



Gambar 1.11 Struktur atom tidak bermuatan

Pemahaman tentang muatan listrik dan hukum Coulomb akan membantu kita memahami perpindahan elektron bebas. Dalam kondisi tertentu, beberapa atom dapat kehilangan beberapa elektronnya dalam waktu singkat. Seperti diketahui, bahwa setiap atom memiliki elektron. Ada dua jenis elektron, yaitu elektron terikat (valensi) dan elektron bebas. Elektron bebas adalah elektron yang berada pada orbit paling luar dari setiap struktur atom. Elektron yang berada pada orbit paling luar, posisinya tidak stabil, artinya mudah terlepas dari gaya tarik proton. Terlepasnya elektron valensi ini dapat terjadi karena beberapa kejadian, misalnya tekanan, gesekan, dan karena proses kimiawi.

Gambar 1.12 memperlihatkan struktur sebuah atom yang terdiri dari empat proton, empat neutron, dan empat elektron, di mana ada dua elektron yang berada pada orbit paling luar yang disebut sebagai elektron bebas (valensi).



Gambar 1.12 Struktur atom bermuatan positif

Jika jumlah proton dan elektron pada setiap atom dari suatu bahan sama besarnya, maka bahan tersebut dikatakan netral. Akan tetapi ada kemungkinan bagi kita untuk memindahkan elektron-elektron yang dimiliki oleh suatu bahan ketempat lain bisa juga kita menambahkan jumlah muatan elektron ke dalam bahan tersebut. Akibatnya jumlah elektron tidak sama. Kondisi ini dikatakan bahan tersebut bermuatan listrik. Selain itu setiap bahan mempunyai jumlah elektron dari setiap atomnya yang berbeda.

Cara kuno untuk mendapatkan pergerakan elektron dari suatu partikel ke partikel atom lainnya adalah melalui gesekan. Gesekan pada tutup kursi yang terbuat dari plastik pada musim dingin dan gesekan pakaian sutera pada tangkai gelas merupakan contoh klasik membangkitkan listrik statis melalui gesekan. Listrik statis, tanpa melihat bagaimana cara membangkitkannya, semata-mata diakibatkan oleh adanya perpindahan electron secara permanen.

Elektrostatis menghasilkan pergerakan elektron bebas dengan memindahkan electron bebas dari suatu atom. Sifat utama elektrostatis adalah tidak mungkin mempertahankan perpindahan elektron ini dalam rentang waktu lama. Karena begitu muatan listrik di antara dua partikel atom tersebut telah seimbang, aliran elektron akan berhenti.

1.6. Arus Elektron

Di dunia kita, hampir semua pengetahuan faktual selalu terjadi dalam dua hal yang berlawanan. Misalkan ada kasar ada lembut, ada panas dan ada dingin. Begitu juga di dunia listrik, jika ada listrik statis pasti ada listrik dinamis. Karena sifatnya yang statis maka fenomena listrik statis tidak dapat dimanfaatkan untuk keperluan yang membutuhkan aktivitas secara terus-menerus atau kontinyu. Kalau listrik statis tidak dapat dimanfaatkan energinya maka listrik dinamis pasti dapat dimanfaatkan energi yang ditimbulkan oleh fenomena listrik dinamis untuk keperluan yang lebih produktif. Tentunya kalian setuju dengan pernyataan tersebut. Dalam alam dunia nyata, listrik dinamis lazim disebut sebagai listrik. Jadi jika kita berbicara tentang listrik berarti kita berbicara tentang listrik dinamis.

Seperti telah kalian ketahui listrik merupakan salah satu bentuk energi yang sangat luas pengguaannya di dunia ini. Bentuk energi ini sangat mudah diubah dalam bentuk energi lain, seperti energi gerak, panas, suara maupun kimia. Dari berbagai macam konversi inilah yang membuat peri kehidupan kita di jaman modern ini menjadi sangat nyaman.

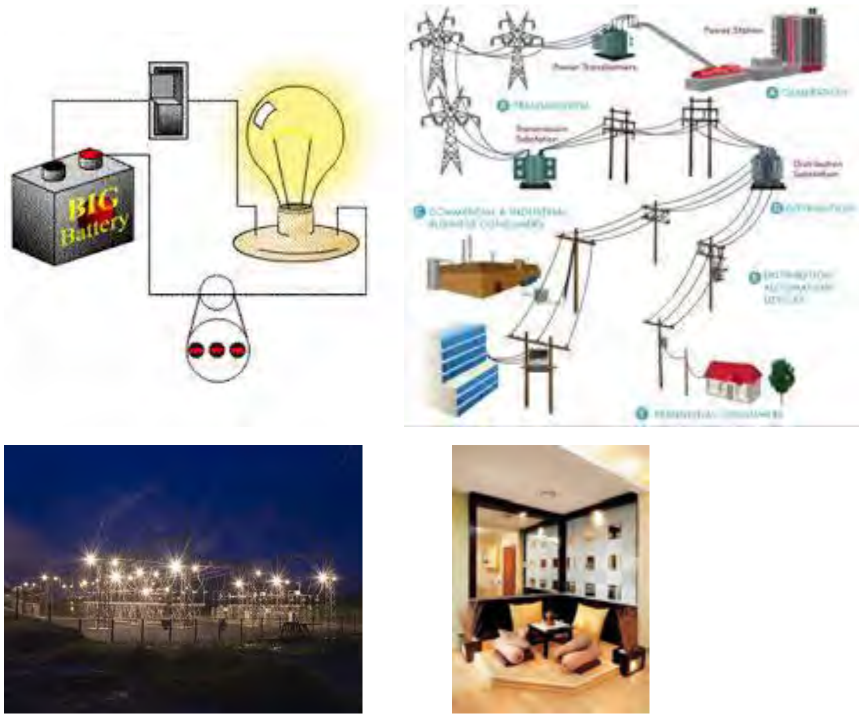
Dalamperi kehidupan modern seperti yang kalian alami saat ini, sangat sulit memisahkan listrik dari peri kehidupan. Harus kita akui bahwa kita sangat tergantung

pada listrik, bahkan lebih daripada yang kita sadari. Kita memerlukan listrik untuk memperoleh informasi, berkomunikasi lewat telepon dan internet, atau sekedar untuk memperoleh cahaya yang nyaman di malam yang damai. Namun, listrik memiliki peran yang lebih penting daripada itu.

Pergerakan Elektron Pada Penghantar Listrik

Pertanyaan yang lebih menarik dan menantang untuk didiskusikan adalah, apakah sebenarnya listrik itu dan mengapa begitu mudahnya untuk mengkonversi energi ini menjadi bentuk energi lain?

Perhatikan dan amati peristiwa berikut ini:



Gambar 1.13 Sumber energi listrik, dan manfaatnya

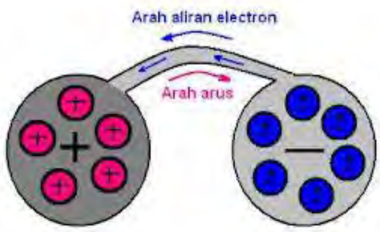
Listrik selalu ada di sekitar kita. Dengannya kita dapat melakukan apa saja dengan sangat mudah dan nyaman. Menghidupkan ratusan mesin yang mewarnai kehidupan kita. Mesin cuci, room air conditioner, televisi, telepon genggam, dan komputer

adalah sedikit dari peralatan elektronik yang selalu ada di dekat kita. Coba kalian bayangkan, duniamu, tanpa listrik. Tentunya semua peralatan canggih yang kalian miliki itu tidak berjalan. Tanpa listrik, dunia terasa mati.

Sifat utama elektrostatis adalah tidak mungkin mempertahankan perpindahan elektron ini dalam rentang waktu lama, sehingga pergerakan elektron tidak dapat dipergunakan untuk keperluan yang lebih bermanfaat. Untuk dapat memanfaatkan pergerakan elektron pada hal yang lebih berguna diperlukan adanya pergerakan elektron secara kontinyu. Untuk selanjutnya pergerakan elektron bebas secara terus menerus (kontinyu) sering disebut sebagai arus elektron.

> **Diskusi 3**: Diskusikan dengan teman sekelompokmu untuk menjawab pertanyaan mendasar yaitu apa, bagaimana, dan mengapa terkait dengan fenomena arus listrik. Pada listrik dinamis pergerakan atau perpindahan elektron bebas dapat terjadi secara terus-menerus. Untuk itu kalian harus mencari informasi-informasi yang terkait dengan masalah tersebut melalui membaca materi pelajaran dalam buku bahan ajar ini, dan melalui sumber-sumber informasi lain, yang dapat kalian peroleh dari buku sekolah elektronik, dari majalah ilmiah populer, atau dari situs-situs pendidikan lewat internet! Presentasikan hasil penemuanmu di kelas agar dapat dibahas dengan kelompok lain. Kemudian buatlah laporan pelaksanaan kegiatan secara indidu.

Dengan melakukan pengkajian yang lebih mendalam tentang pengetahuan konseptual terkait dengan pergerakan elektron bebas secara terus-menrus, kalian akan dapat meperjelas makna arus listrik. Ketika kita membicarakan mengenai listrik maka di dalam bayangan kita adalah adanya pergerakan atau perpindahan elektron bebas (arus elektron) secara kontinyu. Untuk keperluan praktis, maka arus pergerakan elektron lazim disebut sebagai arus listrik, tetapi dengan kesepakatan bahwa arah arus elektron searah dengan pergerakan elektron, sedang arah arus listrik berlawanan dengan arah arus elektron, seperi diperlihatkan dalam Gambar 1.14.



Gambar 1.14 Arus elektron dan arus listrik

Untuk menghasilkan arus listrik yang berdaya guna atau bermanfaat seperti yang kita rasakan dalam kehidupan kita sehari-hari, maka harus diproduksi aliran elektron yang konstan dan kontinyu.

Perpindahan elektron dapat terjadi dalam beberapa cara, tetapi yang paling penting adalah melalui tiga cara, yakni gesekan, kimiawi, dan induksi magnet. Cara gesekan akan menimbulkan gaya elektrostatik, cara kimiawi menghasilkan listrik pada batere/akumulator, dan cara induksi magnet menghasilkan listrik pada sebuah generator.

1.7. Besaran Nilai Arus Listrik

Arus listrik adalah gerakan muatan listrik di dalam suatu penghantar pada satu arah akibat pengaruh gaya dari luar. Karena secara alamiah di dalam suatu bahan atau zat, pergerakan muatan tidak menentu arahnya. Muatan listrik dapat berupa elektron, ion atau keduanya.Arus listrik dapat terjadi dengan media Zat padat, Zat cair, dan Gas.

Seperti telah kalian ketahui, bahwa muatan listrik diukur dalam satuan coulomb (C), di mana 1 Coulomb sama dengan jumlah muatan yang dimiliki oleh 6,24 x 10^{18} elektron, dan muatan dari satu elektron adalah e = 1,602 x 10^{-19} Coulomb. Satu Coulomb adalah hitungan sejumlah elektron yang melewati sauatu konduktor setiap detik, sedang laju aliran arus konstan pada satu amper.

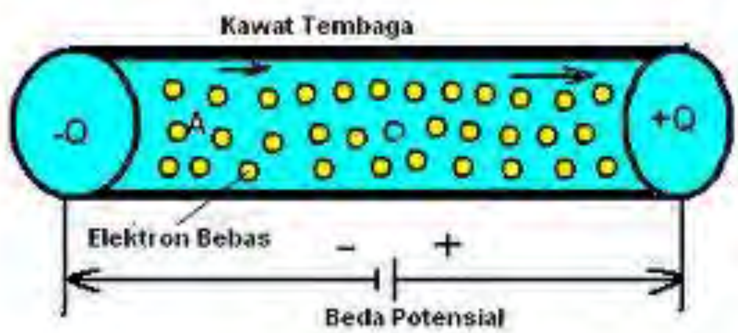
Arus listrik dalam penghantar adalah pergerakan terarah sejumlah elektron dari ujung satu ke ujung lainnya. Jumlah elektron dalam satu Coulomb sama dengan 6,24

x 10^{18} buah elektron. Aliran satu Coulomb per detik sama dengan satu amper. Ini seperti laju aliran air dalam galon per menit.

Coulomb mengukur jumlah elektron. Amper mengukur laju aliran arus listrik. Amper tidak mengukur elektron. Tetapi Amper memiliki hubungan 1/1 dengan Coulomb. Artinya jika ada 10 amper mengalir melewati titik dalam satu detik sama dengan 10 Coulomb.

Dari penjelasan diatas dapat didefinisikan bahwa satuan arus listrik adalah coulomb per detik. Namun satuan arus listrik yang umum digunakan yaitu ampere, dimana satu coulomb per detik = satu ampere atau I = Q/t dimana I adalah lambang dari arus listrik.

Satuan dari arus listrik adalah ampere yang diambil dari nama Andre Marie Ampere (1775-1836).



Gambar 1.15 Arus Listrik dalam Penghantar Listrik

Gerakan elektron pada suatu benda selama periode waktu tertentu akan menimbulkan suatu energi yang kemudian disebut sebagai arus listrik. Misalkan dalam suatu penghantar, jika

- n adalah jumlah elektron bebas pada setiap meter kubik penghantar
- v adalah kecepatan aksial perge-rakan elektron dalam meter/detik
- A adalah luas penampang peng-hantar
- e adalah besarnya muatan setiap elektron.

Maka volume penghantar yang dilalui oleh pergerakan elektron pada waktu dt adalah : v.A.dt dan jumlah elektron yang bergerak dalam volume tersebut adalah : n.v.A.dt

Jadi besarnya muatan yang menembus penampang penghantar dalam waktu dt adalah dq = n.v.A.e.dt.

Definisi arus listrik (I) adalah besarnya muatan per satuan waktu, jadi:

$$i = \frac{dq}{dt} = n.v.A.e \;\; amper$$

Definisi kerapatan arus adalah besarnya arus per satuan luas penampang, jadi:

$$J = \frac{I}{A} = n.v.e \quad A/m^2$$

Misalkan ,

J = 1,55.106 A/m^2

n = 10^{29} untuk tembaga

e = 1,62.10^{-19} C

maka v = 9,7.10^{-5} m/s

1.8. Sifat-sifat Arus Listrik

Arus listrik yang mengalir di dalam suatu bahan listrik dapat melakukan atau menimbulkan suatu usaha atau energi, yaitu

- menimbulkan energi panas,
- menimbulkan energi magnet,
- menimbulkan energi cahaya, dan
- menimbulkan reaksi kimia.

Energi listrik mudah diubah menjadi energi lain. Listrik yang mengalir dalam konduktor dapat menimbulkan panas maupun medan magnet. Dapat kita ketahui

pada motor listrik, putaran pada kumparan disebabkan oleh torsi. Adapun torsi atau momen gaya tersebut ditimbulkan oleh gaya magnetik sebagai akibat interaksi gerakan muatan dengan medan magnet. Dengan adanya momen gaya tersebut maka dapat memungkinkan motor listrik berputar yang kemudian dapat diaplikasikan pada kipas angin, motor listrik dan peralatan mekanis lainnya.

Ada dua jenis arus listrik, yaitu arus searah (direct current) dan arus bolak-balik (alternating current). Arus searah mengalir dalam satu arah. Arus searah meruakan arus listrik yang dihasilkan oleh batere kering dan batere akumulator. Arus searah jarang digunakan di industri sebagai sumber energi utama tetapi lebih banyak digunakan untuk mencatu sistem kontrol industrial.

Arus bolak-balik selalu berbalik arah pada setiap interval tertentu. Arus bolak-balik merupakan jenis arus yang banyak digunakan untuk mengoperasikan peralatan listrik baik untuk keperluan rumah tangga maupun untuk keperluan komersial dan industri. Arus bola-balik akan dibahas lebih rinci dalam buku 2.

Arus yang mengalir di dalam rangkaian listrik diukur dalam satuan amper (disingkat A). Arus sebesar satu amper adalah jumlah arus yang dibutuhkan untuk mengalirkan arus listrik melalui resistansi sebesar satu ohm, pada tekanan listrik sebesar satu volt. Arus listrik dapat diukur dengan menggunakan alat ukur listrik yang disebut amperemeter. Dalam prakteknya untuk mengukur arus listrik dalam skala kecil lazimnya menggunakan ukuran miliamper, di mana 1 miliamper (mA) = 0.001 amper (A). Sebaliknya untuk mengukur arus dalam skala besar, digunakan ukuran kiloamper, di mana 1 kiloamper (kA) = 1000 amper (A).

Arus listrik yang dikonsumsi oleh peralatan listrik dapat digunakan sebagai acuan untuk menyatakan kelayakan operasi suatu peralatan listrik. Misalnya sebuah peralatan pemanas listrik yang memiliki resistansi sebesar 20 ohm, akan menarik arus sebesar 11 amper bla tegangan yang digunakan sebesar 220 volt. Contoh lainnya, misalnya sebuah peralatan tata udara yang sedang beroperasi diukur konsumsi listriknya dengan ampermeter dan diketahui menarik arus sebesar 4,9

amper. Dari hasil pengukuran ini teknisi/mekanik yang mengukur arus listrik dapat segera mengetahui kelayakan kerja peralatan tata udara tersebut dengan membandingkan hasil pengukuran arus dengan data konsumsi arus nominal yag ada pada plat nama. Peralatan tata udara dinyatakan beroperasi dengan optimal bila arus yang dikonsumsinya dapat mencapai 80% dari arus nominal pada plat namanya.

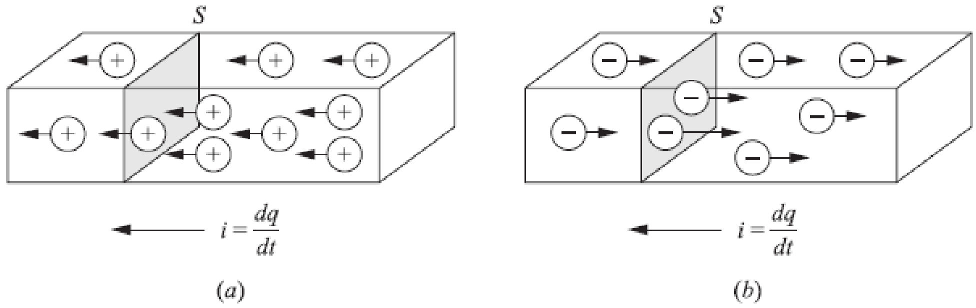
Di dalam fisika jumlah muatan yang mengalir tiap sekonnya disebut dengan arus listrik. Muatan yang mengalir tersebut adalah elektron. Elektron mengalir dalam rangkaian sangat pelan. Satu mol elektron yang mengalir dalam kabel tembaga dengan luas penampang borde 10^{-6} m2 hanya memiliki kecepatan dengan orde 10^{-4} m/s. Kecepatan tersebut dapat dibayangkan hanya seperti sebuah semut yang sedang berjalan atau bahkan lebih lambat lagi.

Sebuah sumber listrik memiliki kutub positif dan kutub negatif, apabila pada kutub positif dan kutub negatif tersebut dipasang saluran penghubung maka akan terjadi perpindahan elektron dari kutub negatif ke kutub positif. Perpindahan ini dalam upaya mencari keseimbangan jumlah proton dan elektron dalam setiap atomnya.

Sebuah penghantar listrik dalam kondisi normal, jumlah elektron dan proton pada setiap atomnya dikatakan setimbang. Tetapi setelah penghantar tersebut disambung dengan kutub positif dan kutub negatif dari sumber listrik, maka elektron akan mendesak elektron-elektron pada penghantar dan terjadilah perpindahan elektron pada penghantar. Perpindahan elektron pada penghantar ini disebut arus elektron. Pada pembahasan teori listrik tidak mempermasalahkan lebih jauh tentang arus elektron, yang lebih penting adalah memahami arus listrik.

Diskusi Pendalaman:

Arus listrik berlawanan dengan arah arus elektron. Jika arus elekton dari kutup negatif ke kutub positif maka arus listrik dari titik yang bermuatan positif menuju ke titik negatif. Karna yang bergerak adalah elektron sedangkan protonnya trtap. Ternyata dari setiap bahan masing-masing mempunyai kandungan elektron yan tidak sama, antara bahan satu dengan bahan lainnya. Olehkarena itu akan dapat diketahui sifat bahan itu sendiri yang berkaitan dengan jumlah elektron.



Gambar 1.16 Arah gerakan elektron bebas

Seperti kalian ketahui bahwa satuan arus listrik adalah ampere (A). Secara konseptual dinyatakan sebagai arus konstan dalam dua konduktor paralel yang panjangnya tak terhingga dan luas penampangnya diabaikan, yang terpisah dengan jarak satu meter dalam hampa udara (vakum), yang memproduksi gaya antara konduktor sebesar $2{,}0x10^{-7}$ newton per meter. Pernyataan konseptual lain yang lebih nyata adalah arus listrik dihasilkan dari gerakan elektronbebas yang membawa muatan listrik, di mana satu ampere ekivalen dengan satu coulomb muatan listrik yang bergerak pada suatu permukaan dakam satu detik. Sehingga bila dituliskan dalam bentuk fungsi variabel waktu adalah i(A) = dq/dt (C/s). Satuan turunan muatan listrik, adalah coulomb (C), ekivalen dengan amper-detik.

Pergerakan muatan listrik yang dibawa oleh elektron bebas dapat positif atau negatif. Ion positif, bergerak ke arah kiri dalam likuid atau plasma, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 1.16(a), menghasilkan arus i, yang arahny ajuga ke kiri.

Jika ion tersebut bergerak pada permukaan rata S dengan laju kecepatan satu coulomb per detik, maka akan menghasilkan arus satu amper. Ion negatif bergerak ke arah kanan seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.16(b), juga menghasilkan arus listrik yang arahnya ke kiri.

Jika suatu bahan mempunyai jumlah elektron yang banyak dari setiap atomnya maka bahan tersebut bersifat sebagai penghantar. Tapi jika suatu bahan jumlah elektronnya sangat sedikit, bahan tersebut bersifat sebagai bahan penyekat.
Satuan dari arus listrik adalah Ampere (A), yang diambil dari nama Andre Marie Ampere (1775-1836) yang menyatakan besar satu ampere adalah jumlah muatan listrik sebesar 6,24 x 10^{18} elektron, mengalir pada suatu titik tertentu dalam waktu satu detik. Jadi dapat disimpulkan bahwa 1 coulomb = 6,24 x 10^{18} Elektron.Dan satu amper = satu coulomb/detik

Analisis yang lebih penting dalam sirkit atau rangkaian listrik adalah arus pada konduktor metalik di mana gerakan elektron bebas mengambil tempat pada kulit atau lintasan paling luar dari struktur atomnya. Sebagai contoh, tembaga, satu elektron yang berada pada lintasan paling luar hanya terikat dengan lemah dengan inti nukleus sehingga dapat bergerak bebas dari satu atom ke atom berikutnya dalam struktur kristalnya. Pada suhu konstan, maka pergerakan elektronnya juga konstan secara random. Sebagai gambaran yang lebih nyata tentang konduksi pada konduktor yang terbuat dari bahan tembaga kurang lebih ada $8,5x10^{28}$ konduksi elektron yang dapat bergerak bebas per meter kubik. Muatan yang dibawa oleh setiap elektron, -e = - $1,602x10^{-19}$ C, sehingga arus sebesar satu ampere dapat terjadi jika ada $6,24x10^{18}$ elektron per detik bergerak melewati penampang konduktor tersebut.

Soal Latihan:

Contoh 1: Konduktor memiliki arus konstan lima amper. Berapa jumlah elektron bebas yang dapat melewati penampangg konduktor selama satu menit.

Penyelesaian:

5A = (5C/detik)(60detik/menit) = 300 C/menit

$$\frac{300\,C/menit}{1{,}602x10^{-19}\;C/elektron} = 1{,}871021\,elektron/menit$$

Contoh 2: Sebuah batere memberikan arus 0,5 A kepada sebuah lampu selama 2 menit. Berapakah banyaknya muatan listrik yang dipindahkan ?.

Penyelesaian:

Diketahui : I = 0,5 amp; t = 2 menit.

Ditanyakan : Q (muatan listrik).

Penyelesaian : t = 2 menit = 2 x 60 = 120 detik

Q = I x t

= 0,5 x 120 = 60 coulomb.

Contoh 3: Dalam suatu kawat penghantar mengalir 45 C muatan selama 5 menit. Tentukan besar kuat arus yang mengalir dalam kawat penghantar tersebut!

Penyelesaian :

Diket : Q = 45 C

t = 5 menit = 300 detik

Ditanya : I = ….

Jawab :

I = Q/t

= 45 C/300 s = 0,15 A

Permasalahan

1. Sebuah batere memberikan arus 100 mA kepada sebuah lampu selama satu jam. Berapakah banyaknya muatan listrik yang dipindahkan ?.
2. Dalam suatu kawat penghantar mengalir 60 C muatan selama 30 menit. Tentukan besar kuat arus yang mengalir dalam kawat penghantar tersebut!
3. Sebuah akumulator memberikan arus 280 µA kepada sebuah lampu selama 30 menit. Berapakah banyaknya muatan listrik yang dipindahkan ?.
4. Dalam suatu kawat penghantar mengalir 650mC muatan selama 50detik. Tentukan besar kuat arus yang mengalir dalam kawat penghantar tersebut

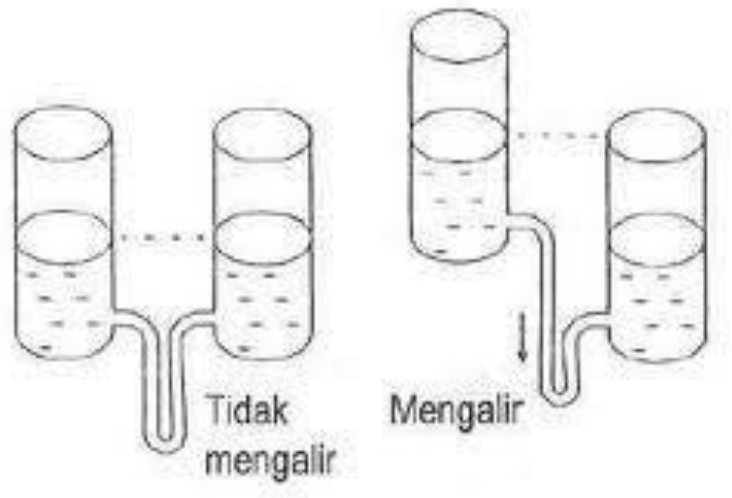
2. Potensial Listrik

Sebelum membahas tentang potensial listrik, marilah tinjau ulang pemahaman kalian tentang arus listrik.Semua tentu paham bahwa arus listrik terjadi karena adanya aliran elektron dimana setiap elektron mempunyai muatan yang besarnya sama. Jika kita mempunyai benda bermuatan negatif berarti benda tersebut mempunyai kelebihan elektron. Derajat termuatinya benda tersebut diukur dengan jumlah kelebihan elektron yang ada. Muatan sebuah elektron, sering dinyatakan dengan simbul q atau e, dinyatakan dengan satuan coulomb, yaitu sebesar $q = 1{,}6 \times 10^{-19}$ coulomb

Misalkan kita mempunyai sepotong kawat tembaga yang biasanya digunakan sebagai penghantar listrik dengan alasan harganya relatif murah, kuat dan tahan terhadap korosi. Besarnya hantaran pada kawat tersebut hanya tergantung pada adanya elektron bebas (dari elektron valensi), karena muatan inti dan elektron pada lintasan dalam terikat erat pada struktur kristal. Pada dasarnya dalam kawat penghantar terdapat aliran elektron dalam jumlah yang sangat besar, jika jumlah elektron yang bergerak ke kanan dan ke kiri sama besar maka seolah-olah tidak terjadi apa-apa. Namun jika ujung sebelah kanan kawat menarik elektron sedangkan ujung sebelah kiri melepaskannya maka akan terjadi aliran elektron ke kanan (tapi ingat, dalam hal ini disepakati bahwa arah arus ke kiri). Aliranelektron inilah yang selanjutnya disebut arus listrik.

2.1. Pengertian Potensial Listrik

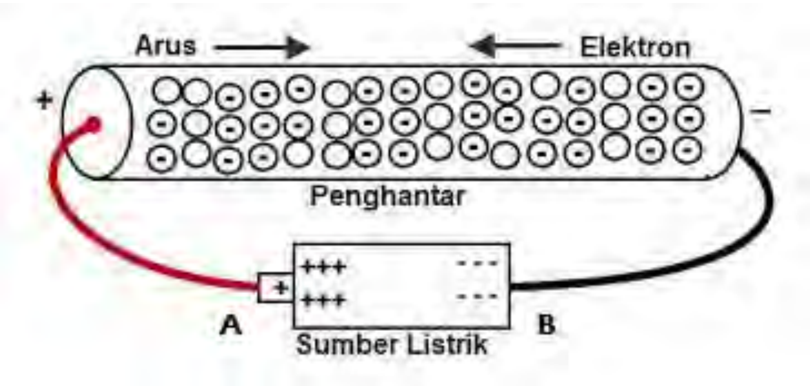
Potensial listrik lazim juga disebut sebagai tegangan listrik. Akan mudah menganalogikan aliran listrik dengan aliran air. Misalkan kita mempunyai dua tabung yang dihubungkan dengan pipa seperti pada gambar. Jika kedua tabung ditaruh di atas meja maka permukaan air pada kedua tabung akan sama dan dalam hal ini tidak ada aliran air dalam pipa. Jika salah satu tabung diangkat maka dengan sendirinya air akan mengalir dari tabung tersebut ke tabung yang lebih rendah. Makin tinggi tabung diangkat makin deras aliran air yang melalui pipa.



Gambar 1.17 Energi Potensial Air

Terjadinya aliran tersebut dapat dipahami dengan konsep energi potensial. Tingginya tabung menunjukkan besarnya energi potensial yang dimiliki. Yang paling penting dalam hal ini adalah perbedaan tinggi kedua tabung yang sekaligus menentukan besarnya perbedaan potensial. Jadi semakin besar perbedaan potensialnya semakin deras aliran air dalam pipa. Konsep yang sama akan berlaku untuk aliran elektron pada suatu penghantar. Yang menentukan seberapa besar arus yang mengalir adalah besarnya beda potensial (dinyatakan dengan satuan volt). Jadi untuk sebuah konduktor semakin besar beda potensial akan semakin besar pula arus yang mengalir.

Perlu dicatat bahwa beda potensial diukur antara ujung-ujung suatu konduktor. Namun kadang-kadang kita berbicara tentang potensial pada suatu titik tertentu. Dalam hal ini kita sebenarnya mengukur beda potensial pada titik tersebut terhadap suatu titik acuan tertentu. Sebagai standar titik acuan biasanya dipilih titik tanah (ground). Lebih lanjut kita dapat menganalogikan sebuah baterai atau accu sebagai tabung air yang diangkat. Baterai ini mempunyai energi kimia yang siap diubah menjadi energi listrik. Jika baterai tidak digunakan, maka tidak ada energi yang dilepas, tapi perlu diingat bahwa potensial dari baterai tersebut ada di sana. Hampir semua baterai memberikan potensial (*electromotive force – e.m.f*) yang hampir sama walaupun arus dialirkan dari baterai tersebut.

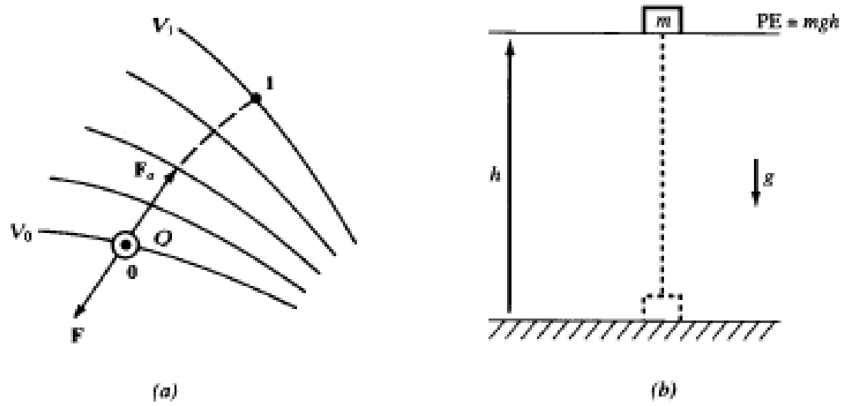


Gambar 1.18 Potensial Listrik pada Sumber Energi Listrik

Pada sistem instalasi air, air dapat mengalir sepanjang masih ada tekanan pada salah satu ujung pipa dan ujung pipa lainnya dalam kondisi terbuka. Semakin besar tekanan air yang ada di dalam pipa semakin besar pula debit air yang megalir melalui pipa tersebut. Hal yang sama berlaku pada sistem instalasi listrik. Elektron dapat mengalir sepanjang masih ada tekanan listrik pada sistem instalasi listrik tersebut. Istilah yang lazim digunakan untuk menyebutkan tekanan listrik adalah tegangan, beda potensial, dan gaya gerak listrik.

Diskusi Pendalaman:

Seperti telah kalian ketahui, bahwa muatan listrik menghasilkan gaya di dalam medan listrik, jik atidak berlawanan akan mengakselerasi partikel yang dikandung muatan listrik tersebut. Mari kita amati Gambar 1.19 (a). Yang menarik dari fenomena tersebut adalah usaha yang dilakukan untuk menggerakkan muatan di dalam medan listrik. Jika usaha sebesar satu joule diperlukan untuk menggerakkan muatan Q, sebesar satu coulomb dari posisi 0 ke posisi 1, dan posisi 1 memiliki potensial sebesar satu volt terhadap posisi 0; maka 1 V = 1 J/C. Potensial listrik tersebut mampu mengerjakan usaha karena adanya masa (m) seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 1.19(b), di mana masa (m) dinaikkan melawan gaya grafitasi (g) setinggi (h) di atas permukaan datar. Ejergi potensial (mgh)merepresentasikan kemampuan untuk melakukan usaha ketika masa (m) dilepaskan kembali. Karena masa (m) jatuh, terjadi akselerasi dan energi potensial dikonversi menjadi energi kinetik.



Gambar 1.19 Usaha untuk Menggerakkan Elektron

Contoh Kasus: Dalam suatu rangkaian listrik diperlukan energi sebesar 9,25 mikrojoule (µJ) untuk membawa muatan listrik sebesar 0,5 coulomb (C) dari titik a ke titik b. Berapa beda potensial listrik yang dibangkitkan antara dua titik tersebut?

Penyelesaian:

1 volt = 1 joule per coulomb

$$V = \frac{9{,}25x10^{-6}\,J}{0{,}5x10^{-6}\,C} = 18{,}5\,volt$$

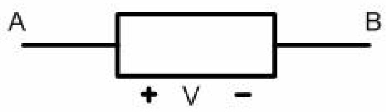
Beda potensial dalam bahasa Inggris voltage atau seringkali orang menyebut dengan istilah tegangan listrik adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan (sebesar satu coulomb) pada elemen atau komponen dari satu terminal/kutub ke terminal/kutub lainnya, atau pada kedua terminal/kutub akan mempunyai beda potensial jika kita menggerakkan/memindahkan muatan sebesar satu coulomb dari satu terminal ke terminal lainnya.

Keterkaitan antara kerja yang dilakukan sebenarnya adalah energi yang dikeluarkan, sehingga pengertian diatas dapat dipersingkat bahwa tegangan adalah energi per satuan muatan.

Secara matematis dituliskan:

$v = \frac{dw}{dq}$, diukur dalam satuanvolt (V).

Ada dua cara menganalis beda potensial, yaitu: (a) tegangan turun (voltage drop), dan tegangan naik (*voltage rise*). Untuk aplikasi praktis, yang lazim digunakan adalah pengertian kedua yaitu tegangan turun, yakni jika dipandang dari potensial lebih tinggi ke potensial lebih rendah dalam hal ini dari terminal A ke terminal B.



Gambar 1.20 Beda Potensial Listrik

Jika kita gunakan istilah tegangan turun, maka jika beda potensial antara kedua titik tersebut adalah sebesar 5 Volt, maka VAB = 5 Volt dan VBA = -5 Volt. Tegangan naik digunakan jika dipandang dari potensial lebih rendah ke potensial lebih tinggi dalam hal ini dari terminal B ke terminal A.

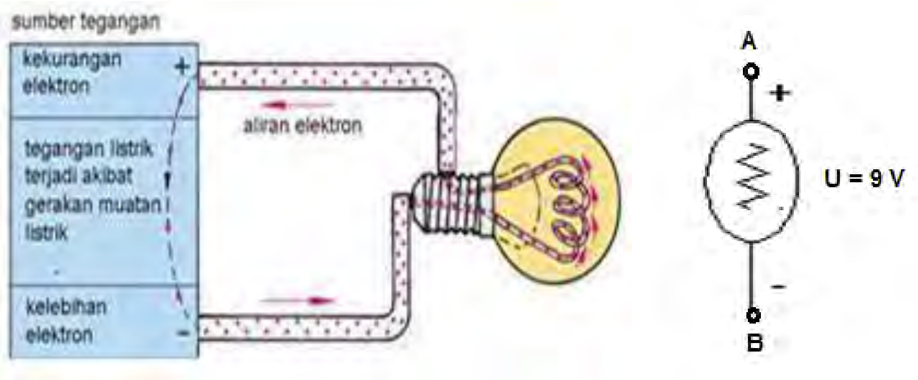
Kembali ke masalah awal, hukum muatan listrik menyatakan bahwa muatan yang sejenis akan saling tolak. Konsekuensinya, ada sentakan atau gaya, akibat tarik-menarik dari dua muatan listrik yang berbeda. Kita menyebut sentakan dari tarik-menarik ini sebagai gaya medan listrik. Bila dua muatan yang berbeda dihubungkan

melalui konduktor, maka kelebihan electron pada satu sisi akan mengalir ke titik di mana terjadi kekurangan electron. Tetapi bila dua muatan tersebut dihubungan melalui isolator, yang tidak dapat mengalirkan electron, maka kelebihan electron pada satu sisi tidak dapat berpindah tempat.

Sepanjang electron tidak dapat mengalir, besarnya medan listrik antara dua ujung yang bermuatan dan terisolasi tersebut akan meningkat. Sebagai hasilnya tegangan antara dua ujung yang bermuatan disebut tekanan listrik. Tekanan listrik ini dapat menjadi semakin besar. Setelah batas kemampuannya terlewati, kekuatan isolator tidak mampu lagi menahan kelebihan electron, sehingga electron akan bergerak menyerbu melewati isolator ke ujung lainnya.

Tekanan listrik yang menyebabkan elektron mengalir lazim disebut tegangan. Tegangan merupakan perbedaan potensial listrik atau muatan listrik antara dua titik.. Tegangan listrik diukur dalam satuan volt. Di mana besaran tegangan satu volt merupakan jumlah tekanan yang diperlukan untuk menekan satu amper arus elektron melalui konduktor yang memiliki resistansi sebesar satu ohm. Dalam prakteknya untuk mengukur tegangan dalam skala kecil lazimnya menggunakan ukuran milivolt, di mana 1 mvolt = 0.001 volt. Sebalinya untuk mengukur tegangan dalam skala tinggi, digunakan ukuran kilovolt, di mana 1 kvolt = 1000 volt.

Sebuah besaran dan polaritas harus ditetapkan guna menjelaskan potensial atau tegangan secara lengkap. Tanda-tanda polaritas di dalam rangkaian ditempatkan di dekat kedua penghantar di mana tegangan didefinisikan. Pemberian tanda polaritas tegangan pada rangkaian listrik sangat penting untuk memudahkan analisa rangkaian

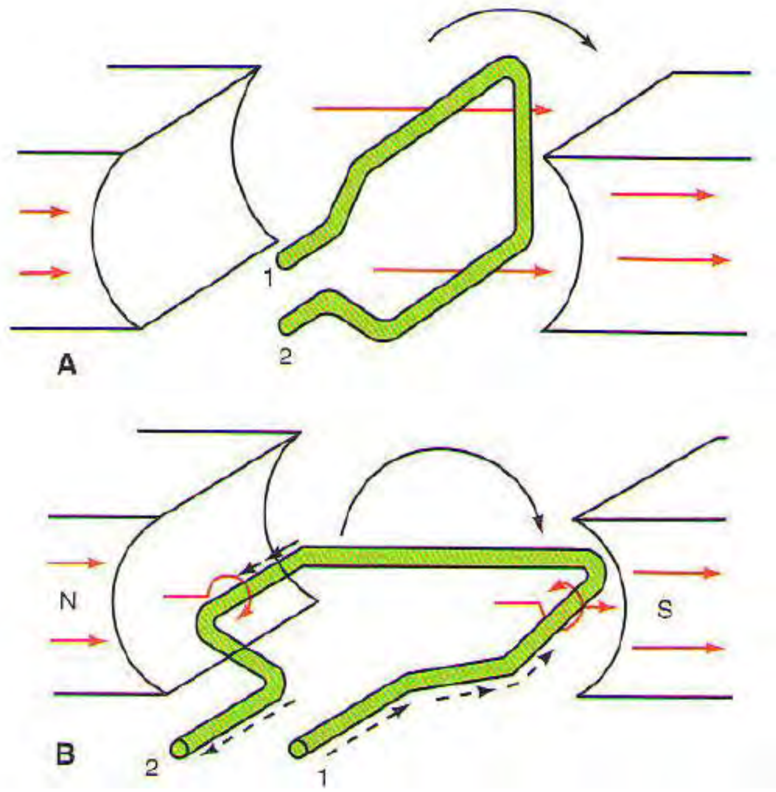


Gambar 1.21 Pemberian Tanda Polaritas Sumber Tegangan

2.2. Pembangkitan Tegangan Listrik

Seperti telah kalian ketahui, bahwa perpindahan elektron secara dinamis dapat terjadi dalam dua cara, yaitu kimiawi dan induksi magnet. Cara kimiawi menghasilkan listrik pada batere/akumulator, dan cara induksi magnet menghasilkan listrik pada sebuah generator. Listrik yang dibangkitkan melalui proses kimiawi seperti pada batere kering (dry cell) memiliki tegangan 1,5 volt dengan arus searah (direct current). Dalam batere kering, zat kimia bereaksi untuk membangkitkan listrik. Jika zat kimia habis maka batere juga "mati" dan dibuang.

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Jika konduktor atau penghantar digerakkan memotong medan magnetik, maka akan dibangkitkan potensial listrik atau electromtive force (imf) pada konduktor tersebut, seperti diperlihatan dalam Gambar 1.22.

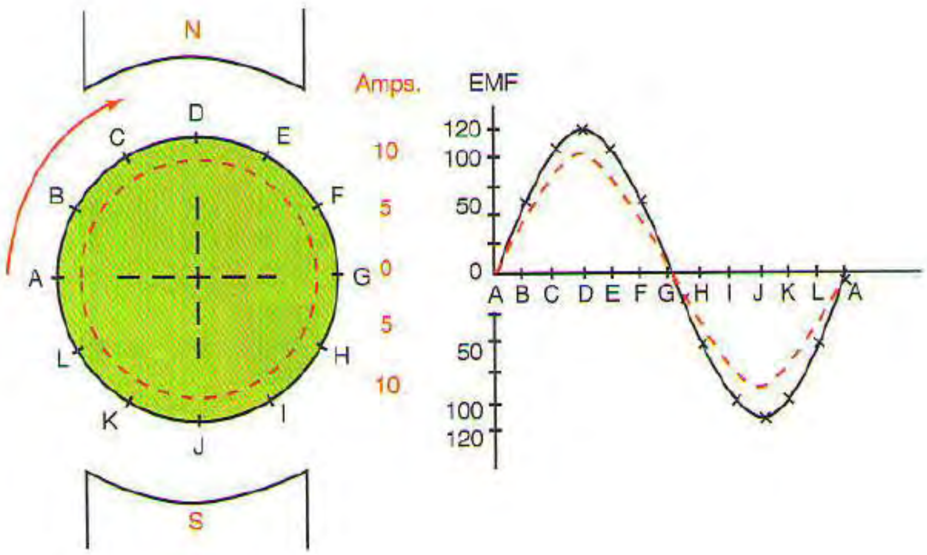


Gambar 1.22 Prinsip Pembangkitan Potensial Listrik (emf)

Pada Gambar 1.22A, penghantar tidak memotong medan magnet tetapi sejajar dengan medan magnet. Pada posisi seperti itu, tidak dibangkitkan emf di konduktornya. Tetapi pada posisi konduktor seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.22B, terlihat kedua sisi konduktor memotong medan magnet. Pada posisi tersebut, emf akan dibangkitkan di kedua sisi konduktor.

Jika kedua ujung konduktor dihubungkan ke rangkaian listrik, tidak ada arus yang mengalir pada saat posisi konduktor dalam interval vertikal. Karena konduktor melakukan gerakan putar, akan memotong medan magnet. Maka arus akan mulai mengalir. Jika konduktor telah berputar mencapai posisi 90^o dari posisi horisontalnya, maka arus mencapai harga maksimum. Begitu mencapai titik tersebut, arus akan mengecil kembali. Setelah gerakan konduktor mencapai posisi 90^o berikutnya, tidak ada arus yang dibangkitkan. Jika konduktor terus berputar, maka konduktor akan memotong medan magnet pada kutub magnet yang berlawanan. Hal

ini akan berakibat arus yang dibangkitkan pada konduktor akan mengalir pada arah yang berlawanan. Kalian akan mengkaji masalah pembangkitan potensial listrik pada Dasar dan Pengukuran Listrik 2.



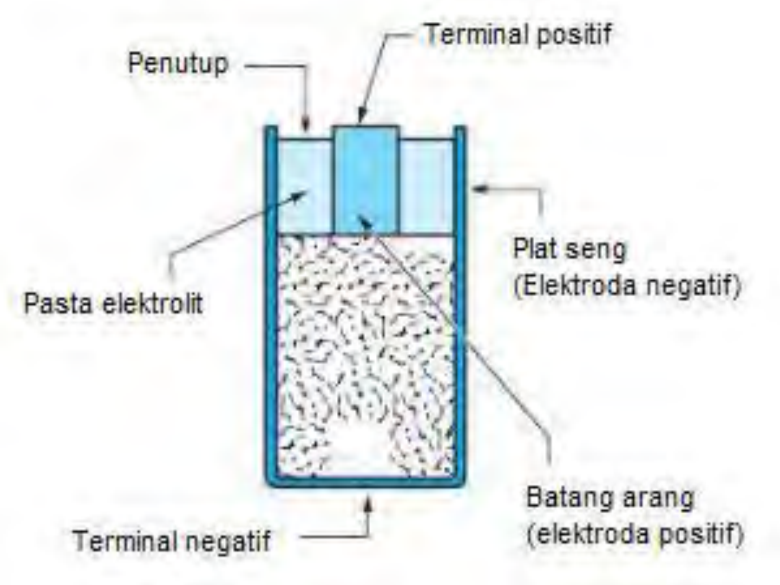
Gambar 1.23 Arus dan tegangan (emf) berubah dalam satu putaran Jangkar

Proses ini dikenal sebagai pembangkitan tenaga listrik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokat maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimampatkan, atau apa pun sumber energi mekanik yang lain.

Arus listrik dapat dihasilkan melalui pergerakan electron karena proses kimiawi. Sebuah batere atau akumulator menghasilkan aliran electron secara terus menerus melalui reaksi kimia antara dua elektroda yang berbeda jenisnya. Elektroda merupakan sebuah konduktor padat di mana arus listrik dapat mengalir melaluinya. Salah satu elektroda mengumpulkan electron dan satu elektroda lainnya memberikan

elektronnya. Batere kering menggunakan dua elektroda dari bahan metal yang berbeda yang dimasukkan ke dalam bahan pasta elektrolit. Arus listrik diproduksi ketika terjadi reaksi kimiawi di dalam pasta elektrolit antara dua elektrodanya, yang menyebabkan terjadinya aliran electron. Konstruksi batere kering diperlihatkan dalam Gambar 1.24

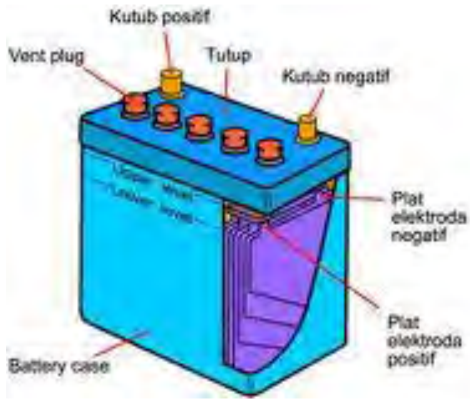
Kontainer batere kering terbuat dari plat seng, sebagai elektroda negatif, yang berfungsi memberikan elektron. Batang arang yang diletakkan ditengah, sebagai elektroda positif yang berfungsi mengumpulkan electron. Ruang antara kedua elektroda diisi oleh elektrolit lazimnya terbuat dari mangandioksida berbentuk pasta. Pasta asam mangan dioksida ini menyebabkan terjadinya reaksi kimia antara elektroda arang dan seng. Reaksi kimiawi ini memindahkan elektron seng, sehingga menimbulkan aliran electron. Bagian atas batere ditutup rapat agar pasta elektrolitnya tidak kering. Batere kering akan kehilangan energinya setelah dipakai. Energi yang telah dipakai tidak dapat digantikan lagi.



Gambar 1.24 Konstruksi Betere Kering

.Berbeda dengan akumulator yang dapat di *re-charge* setelah dipakai. Akumulator terdiri dari elektroda positif , elektroda negative, dan liquid elektrolit. Elektrolitnya terbuat dari bahan bahan asam sulfat encer. Elektroda positif dilapisi

dengan timbal diokasida (lead dioxide) dan elektroda negative terbuat dari timbal murni (sponge lead). Reaksi kimiawi antara dua elektroda dengan cairan elektrolitnya menyebabkan perpindahan electron dan menghasilkan tegangan antara elektrodanya. Akumulator dapat di re-charge dengan cara membalik arah arus yang mengalir akumulator.



Gambar 1.25 Akumulator

B. Kegiatan Belajar 2

Memeriksa Bahan-bahanListrik

Kalian telah mempelajari pergerakan elektron bebas. Oleh karena elektron-elektron yang tidak terikat bebas bergerak meninggalkan atom dan mengambang dalam ruang antar atom yang berdekatan, sehingga elektron-elektron ini disebut elektron bebas Pada beberapa jenis bahan, seperti logam, elektron terluar dari atom mudah terlepas dari ikatan sehingga dapat bergerak secara acak dalam ruang antar atom dari bahan tersebut akibat pengaruh energi panas dari suhu ruangan. Setiap elektron bergerak merata melalui konduktor, masing-masing elektron saling mendorong dari pangkal ke ujung, sehingga seluruh elektron bergerak bersama-sama sebagai suatu kelompok. Elektron dari berbagai tipe atom yang berbeda memiliki derajat kebebasan yang berbeda dalam bergerak mengelilingi inti.

Lembar Kerja Pengamatam 1 (**LKP 1**) : Kalian amati benda-benda berikut ini, dan kelompokkan berdasarkan sifat elektronnya. Dan presentasikan hasil kerja kalian!



Gambar 2.1 Benda-benda di sekitar kita

Kemampuan suatu benda baik padat, cair atau gas untuk menghantarkan arus listrik atau elektron berbeda-beda. Dilihat dari kemampuan suatu benda untuk

menghantarkan arus listrik, maka bahan listrik dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu:

(1) konduktor atau penghantar

(2) non konduktor atau isolator,

Pengelompokan bahan listrik tersebut didasarkan pada kemampuan konduktansi dan nilai resistansi bahan listrik. Selain kedua jenis bahan tersebut ada satu bahan lagi yang sangat fonumental, yaitu semikonduktor. Dalam kegiatan belajar ini kalian akan mempelajari ketiga jenis bahan listrik tersebut.

1. Konduktor

Mobilitas elektron-elektron dalam suatu bahan disebut dengan konduktivitas listrik. Konduktivitas ditentukan oleh jenis atom dalam bahan (jumlah proton dalam setiap inti atom menentukan identitas kimianya) dan bagaimana atom-atom tersebut terhubung bersama satu dengan yang lain. Bahan dengan mobilitas elektron yang tinggi (banyak elektron bebas) disebut konduktor, karena bahan-baban tersebut memiliki konduktivitas tinggi.

Untuk menentukan tingkat konduktivitas, dinyatakan dengan nilai konduktansi yang diukur dalam satuan mho. Bahan konduktor yang memiliki konduktivitas tinggi, berarti nilai konduktansinya juga tinggi. Sudah barang pasti, nilai konduktivitas setiap bahan konduktor berbeda-beda, ada yang nilainya tinggi ada pula yang rendah.

Kebalikan dari konduktivitas adalah resistansitas. Jika suatu bahan konduktor dinyatakan memiliki konduktivitas tinggi, maka nilai resistansinya rendah, demikian sebaliknya jika bahan konduktor dinyatakan memiliki konduktivitas rendah maka nilai resistansinya tinggi. Untuk menyatakan tingkat resistansitas suatu bahan konduktor dinyatakan dengan nilai resistansi yang diukur dalam satuan ohm. Bahan konduktor yang memiliki resistansitas rendah, berarti memiliki nilai resistansi

rendah. Untik keperluan praktis, resistansi dinyatakan dengan huruf kapital R, sedang konduktasi dinyatakan dengan huruf kapital G.

Lembar Kerja Pengamatan 2 (LKP 2): Siapkan ohmmeter digital atau analog,dan siapkan pula lima jenis konduktor dari jenis kawat email dengan ukuran berbeda, mulai dari 0,2 mm. 0,3 mm, 0,5 mm, 0,6 mm, dan 0,8 mm, masing-masing dengan panjang dua meter. Kemudian ukurlah nilai resistansinya dengan menggunakan ohmmeter. Data pengukuran dicatat dan masukkan dalam daftar tabulasi data. Kemudian lakukan analisis data. Hasil analisis data dan kesimpulanmu dipresentasikan di depan kelas.

Tabulasi Data Nilai Resistansi Kawat Email Panjang satu meter

Kawat eamil	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3
0,2 mm			
0,3 mm			
0,4 mm			
0, 6 mm			
0,8 mm			

Tabulasi Data Nilai Resistansi Kawat Email Panjang dua meter

Kawat eamil	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3
0,2 mm			
0,3 mm			
0,4 mm			
0, 6 mm			
0,8 mm			

Resistivitas

Arus yang mengalir dalam suatu penghantar selalu mengalamihambatan dari penghantar itu sendiri. Besar hambatan tersebuttergantung dari jenis bahan penghantar yang digunakan. Besar hambatan tiap meternya denganluas penampang 1mm^2 pada temperature 200^{o}C dinamakan hambatan jenis atau resistivitas. Untuk memhami resitivitas tugas kalian mencari nilai resistivitas dari beberapa bahan yang terdapat pada Tabel Nilai Resistivitas berikut ini.

Tabel Nilai Resistivitas beberapa konduktor Listrik

No	Bahan konduktor Listrik	Nilai Resistivitas
1	Perak	
2	Emas	
3	Tembaga	
5	Alumunium	
6	Besi	
7	baja	

Resistansi Konduktor

Seperti yang telah kalian ketahui, bahwa ketika pergerakan elektron-elektron bebas dalam suatu bahan, tanpa arah atau kecepatan tertentu, dan terpengaruh oleh gaya sehingga bergerak secara terkoordinasi melalui suatu bahan konduktif, maka pergerakan elektron yang merata ini disebut dengan listrik atau arus listrik. Sama seperti air yang mengalir melalui pipa, elektron dapat bergerak melalui ruang kosong diantara atom-atom dari konduktor. Konduktor mungkin terlihat sebagai suatu benda padat, tetapi bahan yang tersusun dari atom-atom sebagian besar merupakan ruang kosong. Analogi aliran air tersebut begitu cocok sehingga pergerakan elektron melalui suatu konduktor sering disebut sebagai “aliran”.

Untuk keperluan penyaluran arus listrik secara efektif dan efisien, maka diperlukan bahan konduktor yang memiliki konduktivitas tinggi atau memiliki nilai

resistansi rendah. Berikut beberapa contoh dari bahan konduktor yang lazim digunakan untuk keperluan penghantaran arus listrik:perak, tembaga, emas, aluminium, merkuri, dan grafit. Bahan yang memiliki konduktivitas rendah antara lain gelas, karet, minyak, aspal, serat kaca, porselen, keramik, kuarsa, kapas, kertas, kayu, plastik, udara, berlian, dan air murni.

Konduktor atau penghantar listrik adalah bahan listrik yang mempunyai daya hantar listrik yang besar sehingga arus listrik mudah mengalir di dalamnya. Yang termasuk kelompok konduktor adalah semua logam dan campurannya. Jenis logam yang mempunyai daya hantar listrik besar dan banyak digunakan adalah tembaga, dan alumunium. Arus listrik yang dimaksudkan di sini dapat berupa arus kuat (electric current) dan dapat berupa arus lemah (signal).

Nilai resistansi konduktor diukur dalam satuan ohm, lazimnya bervariasi mulai dari : 0,000 001 atau $1x10^{-6}$ ohm, 0,00001 atau $1x10^{-5}$ ohm, 0,0001 atau $1x10^{-4}$ ohm hingga 0,001 atau $1x10^{-3}$ ohm.

Nilai resistansi bahan konduktor harus sangat kecil, agar rugi tegangan yang ditimbulkan menjadi sangat kecil.

Secara fisik, nilai resistansi suatu bahan konduktor, tergantung pada:

- panjang konduktor yang digunakan dalam (m)
- luas penampang konduktor yang digunakan dalam (m2)
- jenis bahan konduktor yang digunakan

Jenis Bahan Konduktor

Bahan-bahan yang dipakai untuk konduktor harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

1. Konduktifitasnya cukup baik.
2. Kekuatan mekanisnya (kekuatan tarik) cukup tinggi.
3. Koefisien muai panjangnya kecil.
4. Modulus kenyalnya (modulus elastisitas) cukup besar.

Bahan-bahan yang biasa digunakan sebagai konduktor, antara lain:

1. Logam biasa, seperti: tembaga, aluminium, besi, dan sebagainya.

2. Logam campuran (*alloy)*, yaitu sebuah logam dari tembaga atau aluminium yang diberi dalam jumlah tertentu dari logam jenis lain, yang gunanya untuk menaikkan kekuatan mekanisnya.

3. Logam paduan (*composite*), yaitu dua jenis logam atau lebih yang dipadukan dengan cara kompresi, peleburan (*smelting*) atau pengelasan (*welding*).

2. Isolator

Seperti telah kalian ketahui, bahwa tidak semua bahan konduktif memiliki tingkat konduktivitas yang sama, terhadap pergerakan elektron. Pada suatu bahan tertentu maka nilai konduktivitas bisa menjadi sangat rendah, sehingga mobilitas pergerakan elektron manjadi sangat sulit terjadi, bahkan pada bahan tertentu mobilitas pergerakan elektron sama sekali tidak dapat berlangsung. Sebagai contoh isolator, kaca jendela lebih baik dari pada sebagian besar plastik, dan lebih baik daripada fiberglass. Begitu juga dengan konduktor listrik, sebagian lebih baik daripada yang lain. Sebagai contoh, perak adalah konduktor terbaik dalam golongan konduktor, bahannya memberikan ruang yang lebih mudah bagi elektron untuk bergerak dibandingkan dengan bahan konduktor yang lain.

Bahan lain seperti gelas, elektron-elektron gelas hanya memiliki sedikit ruang untuk bergerak bebas. Ketika gaya luar seperti tarikan fisik dikenakan pada bahan tersebut, maka elektron-elektron bebas dipaksa meninggalkan atom dan berpindah ke atom dari bahan yang lain. Akan tetapi elektron-elektron tersebut tidak dapat bergerak dengan mudah diantara atom-atom dalam bahan tersebut.

Isolator listrik adalah bahan yang tidak bisa atau sulit melakukan perpindahan muatan listrik. Dalam bahan isolator valensi elektronnya terikat kuat pada atom-atomnya. Bahan-bahan ini lazim dipergunakan dalam peralatan listrik dan elektronikauntuk alasan keamanan dan pencegahan terhadap bahaya sengatan arus

listrik. Isolator digunakan pula sebagai penopang beban atau pemisah antara konduktor tanpa membuat adanya arus mengalir ke luar atau antara konduktor.

Beberapa bahan, seperti kaca, kertas, atau Teflon merupakan bahan isolator yang sangat bagus. Beberapa bahan sintetis masih "cukup bagus" dipergunakan sebagai isolator kabel. Contohnya plastik atau karet. Bahan-bahan ini dipilih sebagai isolator kabel karena lebih mudah dibentuk / diproses sementara masih bisa menyumbat aliran listrik pada voltase menengah (ratusan, mungkin ribuan volt).

Isolator atau non konduktor adalah bahan listrik yang mempunyai nilai resistansi atau daya hambat listrik sangat tinggi, sehingga arus listrik tidak dapat mengalir melewatinya. Karena sifatnya yang tidak menghantarkan arus listrik maka bahan ini banyak digunakan sebagai pelindung terhadap bahaya sengatan arus listrik. Bahan isolator yang sering digunakan adalah gelas, mika, porselin, karet, minyak trafo dan pernis.

Nilai resistansi isolator dalam satuan ohm, lazimnya bervariasi mulai dari: 10×10^9 = 10.000.000.000 Ω, hingga 10×10^{15}=10.000.000.000.000.000 Ω.

Sifat-Sifat Isolator

Isolator atau bahan penyekat digunakan untuk memisahkan bagian-bagian yang bertegangan. Untuk itu pemakaian bahan penyekat perlu mempertimbangkan sifat kelistrikanya. Di samping itu juga perlu mempertimbangkan sifat termal, sifat mekanis, dan sifat kimia. Sifat kelistrikan mencakup resistivitas, permitivitas, dan kerugian dielektrik. Isolator atau penyekat membutuhkan bahan yang mempunyai resistivitas yang besar agar arus yang bocor sekecil mungkin (dapat diabaikan). Yang perlu diperhatikan di sini adalah bahwa bahan isolasi yang higroskopis hendaknya dipertimbangkan penggunaannya pada tempat-tempat yang lembab karena resistivitasnya akan turun. Resistivitas juga akan turun jika tegangan yang diberikan naik.

Pembagian Kelas Bahan Penyekat

Bahan penyekat listrik dapat dibagi atas beberapa kelas berdasarkan suhu kerja maksimum, yaitu sebagai berikut:

Kelas Y, suhu kerja maksimum 90°C. Yang termasuk dalam kelas ini adalah bahan berserat organis (seperti Katun, sutera alam, wol sintetis, rayon serat poliamid, kertas, prespan, kayu, poliakrilat, polietilen, polivinil, karet, dan sebagainya) yang tidak dicelup dalam bahan pernis atau bahan pencelup lainnya. Termasuk juga bahan termoplastik yang dapat lunak pada suhu rendah.

Kelas A, suhu kerja maksimum 150°CYaitu bahan berserat dari kelas Y yang telah dicelup dalam pernis aspal atau kompon, minyak trafo, email yang dicampur dengan vernis dan poliamil atau yang terendam dalam cairan dielektrikum (seperti penyekat fiber pada transformator yang terendam minyak). Bahan -bahan ini adalah katun, sutera, dan kertas yang telah dicelup, termasuk kawat email (enamel) yang terlapis damar-oleo dan damar-polyamide.

Kelas E, suhu kerja maksimum 120°C. Yaitu bahan penyekat kawat enamel yang memakai bahan pengikat polyvinylformal, polyurethene dan damar epoxy dan bahan pengikat lain sejenis dengan bahan selulosa, pertinaks dan tekstolit, film triacetate, film dan serat polyethylene terephthalate.

Kelas B, suhu kerja maksimum 130°C. Yaitu Yaitu bahan non-organik (seperti: mika, gelas, fiber, asbes) yang dicelup atau direkat menjadi satu dengan pernis atau kompon, dan biasanya tahan panas (dengan dasar minyak pengering, bitumin sirlak, bakelit, dan sebagainya).

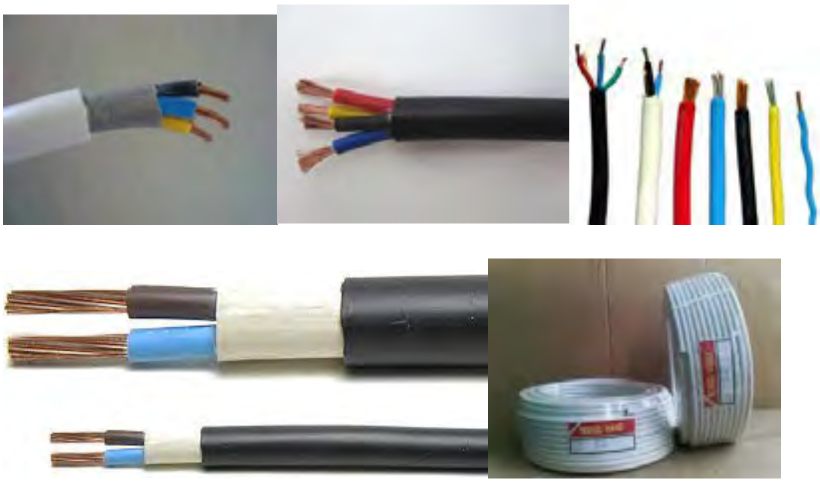
Kelas F, suhu kerja maksimum 155°C. Bahan bukan organik dicelup atau direkat menjadi satu dengan epoksi, poliurethan, atau vernis yang tahan panas tinggi.

Kelas H, suhu kerja maksimum 180°C. Semua bahan komposisi dengan bahan dasar mika, asbes dan gelas fiber yang dicelup dalam silikon tanpa campuran bahan

berserat (kertas, katun, dan sebagainya). Dalam kelas ini termasuk juga karet silikon dan email kawat poliamid murni.

Kelas C, suhu kerja diatas 180°C. Bahan anorganik yang tidak dicelup dan tidak terikat dengan substansi organic, misalnya mika, mikanit yang tahan panas (menggunakan bahan pengikat anorganik), mikaleks, gelas, dan bahan keramik. Hanya satu bahan organik saja yang termasuk kelas C yaitu politetra fluoroetilen (Teflon).

Lembar kerja pengamatan 3 (**LKP 3**): Apa yang kalian ketahui tentang kabel listrik. Amati gambar berikut ini, Diskusikan dengan teman-temanmu menyangkut konstruksi, fungsi dan aplikasi kabel listrik. Untuk itu kalian harus mencari katalog kabel misalny lewat internet. Data terpeting yang harus dikaji antara lain jenis kabel, ukuran kabel, bahan yang digunakan sebagai konduktor, jenis isolasi, daan aplikasi kabel. Presentasikan di kelas jika sudah selesai.



Gambar 2.2 Kabel Listrik

Kabel Listrik

Kabel listrik adalah media untuk menyalurkan energi listrik. Sebuah kabel listrik terdiri dari isolator dan konduktor.Isolator disini adalah bahan pembungkus kabel yang biasanya terbuat dari bahan polivinil, sedangkan konduktornya terbuat dari tembaga pejal atau serabut. Kemampuan menghantarkan arus lsitrik dari sebuah

kabel listrik ditentukan oleh KHA (kemampuan hantar arus) yang dimilikinya, sebab parameter hantaran listrik ditentukan dalam satuan Ampere. Kemampuan hantar arus ditentukan oleh luas penampang konduktor yang berada dalam kabel listrik, adapun ketentuan mengenai KHA kabel listrik diatur dalam spesifikasi SPLN.

Klasifikasi konduktor menurut bahannya:

1. Kawat logam biasa, contoh: (a) BBC (Bare Copper Conductor), dan (b) AAC (All Aluminum Alloy Conductor).

2. Kawat logam campuran (Alloy),contoh: (a) AAAC (All Aluminum Alloy Conductor), (b) kawat logam paduan (composite),seperti: kawat baja berlapis tembaga (Copper Clad Steel) dan kawat baja berlapis aluminium (Aluminum Clad Steel).

3. Kawat lilit campuran, yaitu kawat yang lilitannya terdiri dari dua jenis logam atau lebih, contoh: ASCR (Aluminum Cable Steel Reinforced).

Klasifikasi konduktor menurut konstruksinya:

1. kawat padat (solid wire) berpenampang bulat.

2. kawat berlilit (standart wire) terdiri 7 sampai dengan 61 kawat padat yang dililit menjadi satu, biasanya berlapis dan konsentris.

3. kawat berongga (hollow conductor) adalah kawat berongga yang dibuat untuk mendapatkan garis tengah luar yang besar.

Disamping itu, kabel listrik dapat diklsifikasikan sebagai konduktor telanjang (tanpa isolasi), dan konduktor berisolasi misalnya NYA, NYY, dan NYFGBY

3. Semikonduktor

Berdasarkan penelitian, sifat listrik beberapa bahan dapat berubah tergantung pada kondisi. Gelas sebagai contoh adalah isolator yang baik pada suhu ruangan, tetapi akan menjadi konduktor ketika dipanaskan pada suhu yang tinggi. Gas-gas dalam udara, secara normal merupakan bahan isolasi juga akan menjadi konduktif jika dipanaskan pada suhu yang tinggi. Beberapa logam menjadi konduktor yang

buruk ketika dipanaskan, dan menjadi konduktor yang baik ketika didinginkan. Banyak bahan konduktif menjadi konduktif sempurna dan disebut superkonduktivitas pada suhu yang sangat rendah

Selain konduktor dan isolator seperti yang telah diuraikan di atas, dikenal pula satu jenis bahan listrik yang memiliki sifat unik yaitu semi konduktor. Nilai resistansi bahan semikonduktor adalah di atas nilai resistansi bahan konduktor tetapi di bawah nilai resistansi bahan isolator. Itulah sebabnya mengapa bahan ini disebut sebagai bahan semikonduktor. Daya hantar bahan semikonduktor sangat unik. Berikut ini diberikan berbagai cara bagaimana bahan semikonduktor dapat menghantarkan arus listrik.

Konduksi Intrinsik

Bila suatu bahan semikonduktor didinginkan hingga mencapai suhu -273^{o}C (0 K), bahan semikonduktor ini tidak akan dapat menghantarkan arus listrik, hal ini disebabkan tidak adanya elektron bebas yang dikandung oleh bahan tersebut. Jadi pada sushu -273^{o}C, bahan semikonduktor menjadi islator.

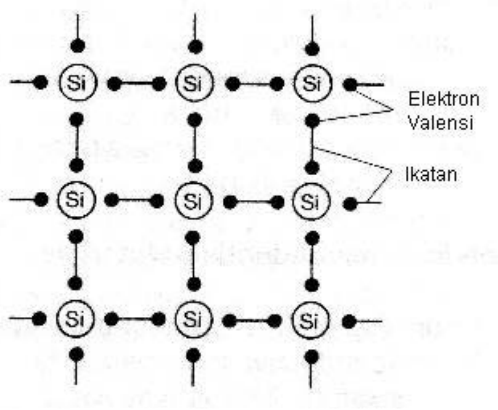
Bila suatu bahan semikonduktor dengan suhu -273^{o}C dipanaskan hingga mencapai suhu 0^{o}C, maka bahan semikonduktor tersebut mulai dapat menghantarkan arus listrik.

Daya hantar jenis (ρ) bahan semikonduktor naik secara eksponensial (kuadratis) dengan kenaikan suhu. Mengapa dengan pemanasan (*heating*) dapat membuat bahan semikonduktor menjadi konduktif?

Bila suatu kristal dipanaskan, maka atom-atom kristal tidak akan tinggal diam, tetapi bergerak ke segala penjuru. Akibatnya ikatan atom terhadap elektron terikat (elektron valensi) terlepas, sehingga berubah menjadi elektron bebas. Elektron bebas menjadi semakin banyak, sehingga daya hantar bahan semikondukor juga menjadi naik. Dari fenomena tersebut dapat diatakan bahwa daya hantar bahan semikonduktor berubah tergantung pada suhu.

Konduksi Ekstrinsik

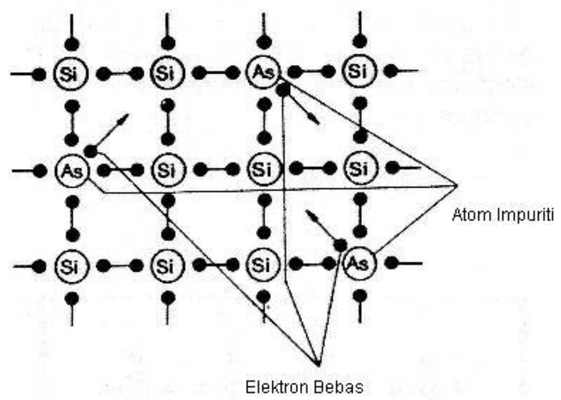
Komponen elekronik seperti diode dan transistor dibuat dari bahan semikonduktor. Misalnya diode terbuat dari dua jenis bahan semikonduktor tipe P dan tipe N.



Gambar 2.3 Struktur kristal Atom Silikon

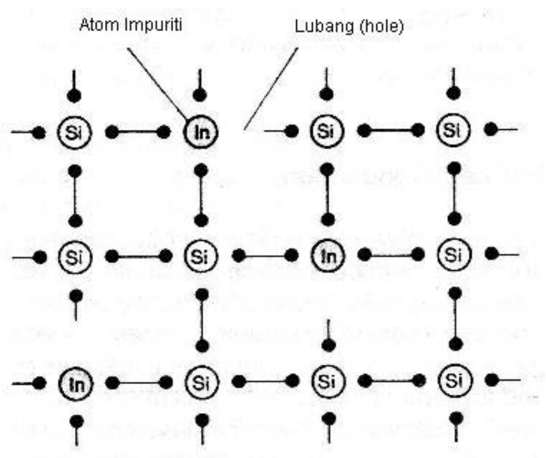
Agar konduktivitas bahan semikonduktor untuk komponen elektronik ini tidak tergantung suhu (konduksi instrinsik) maka ditempuh cara lain, yaitu mencampurkan suatu kristal atom lain ke kristal atom bahan semikonduktor. Cara ini lazim disebut *dopping*.

Misalnya kristal atom silikon yang memiliki 4 elektron valensi di-*dopping* dengan kristal atom arsenik yang memiliki lima elektron valensi, akibatnya campuran ini akan kelebihan elektron, dan disebut sebagai bahan semikonduktor tipe N.



Gambar 2.4 Bahan semikonduktor tipe N

Sebaliknya bila kristal atom silikon di –*dopping* dengan kristal atom indium yang hanya memiliki tiga elektron valensi, maka campuran ini akan kekurangan elektron, sehingga menghasilkan bahan semikonduktor tipe P.



Gambar 2.5 Bahan semikonduktor tipe P

Komponen elektronik seperti diode, transistor dan SCR, terbuat dari gabungan bahan semikonduktor type P dan tipe N. Pembahasan lebih lanjut tentang komponen elektronik tersebut akan dibahas di dalam bab 6.

C. Kegiatan Belajar 3

Memeriksa Sifat Elemen Pasif dalam Rangkaian Arus Searah dan Peralihan

Rangkaian listrik adalah suatu kumpulan elemen atau komponen listrik yang saling dihubungkan dengan cara-cara tertentu dan paling sedikit mempunyai satu lintasan tertutup.

Elemen atau komponen yang akan dibahas pada mata kuliah Rangkaian Listrik terbatas pada elemen atau komponen yang memiliki dua buah terminal atau kutub pada kedua ujungnya. Untuk elemen atau komponen yang lebih dari dua terminal dibahas pada mata kuliah Elektronika.

Pembatasan elemen atau komponen listrik pada Rangkaian Listrik dapat dikelompokkan kedalam elemen atau komponen aktif dan pasif. Elemen aktif adalah elemen yang menghasilkan energi dalam hal ini adalah sumber tegangan dan sumber arus, mengenai sumber ini akan dijelaskan pada bab berikutnya. Elemen lain adalah elemen pasif dimana elemen ini tidak dapat menghasilkan energi. Elemen pasif dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu elemen yang hanya dapat menyerap energi dan elemen yang dapat menyimpan energi.

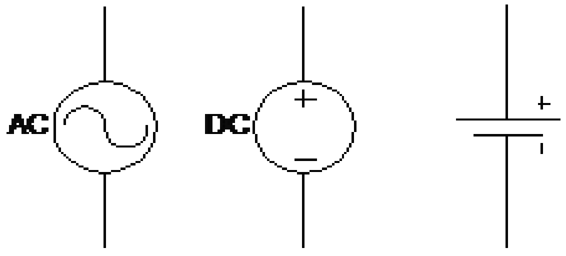
Elemen yang hanya menyerap energi adalah resistor atau lazim juga disebut sebagai tahanan atau hambatan dengan simbol R. Komponen pasif yang dapat menyimpan energi juga diklasifikasikan menjadi dua yaitu komponen atau elemen yang menyerap energi dalam bentuk medan magnet dalam hal ini induktor atau sering juga disebut sebagai lilitan, belitan atau kumparan dengan simbol L, dan komponen pasif yang menyerap energi dalam bentuk medan listrik dalam hal ini adalah kapasitor atau sering juga disebut dengan kondensator dengan simbol C.Pembahasan mengenai ketiga komponen pasif tersebut nantinya akan dijelaskan pada bab berikutnya.

1. Elemen Pasif Rangkaian Listrik

Elemen atau kompoen listrik yang dibicarakan disini adalah elemen listrik dua terminal, yang terdiri atas:Sumber tegangan, Sumber arus, Resistor (R), Induktor (L), Kapasitor (C).Berbicara mengenai Rangkaian Listrik, tentu tidak dapat dilepaskan dari pengertian dari rangkaian itu sendiri, dimana rangkaian adalah interkoneksi dari sekumpulan elemen atau komponen penyusunnya ditambah dengan rangkaian penghubungnya dimana disusun dengan cara-cara tertentu dan minimal memiliki satu lintasan tertutup. Dengan kata lain hanya dengan satu lintasan tertutup saja kita dapat menganalisis suatu rangkaian.

Yang dimaksud dengan satu lintasan tertutup adalah satu lintasan saat kita mulai dari titik yang dimaksud akan kembali lagi ketitik tersebut tanpa terputus dan tidak memandang seberapa jauh atau dekat lintasan yang kita tempuh.Rangkaian listrik merupakan dasar dari teori rangkaian pada teknik elektro yang menjadi dasar atay fundamental bagi ilmu-ilmu lainnya seperti elektronika, sistem daya, sistem computer, putaran mesin, dan teori control.

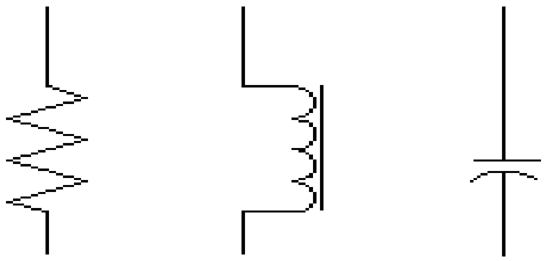
Sebuah rangkaian (circuit) dan Jaringan (net work) terbentuk dari gabungan elemen-elemen dua terminal baik elemen pasif maupun elemen aktif. Elemen-elemen aktif adalah sumber tegangan atau sumber arus yang mampu menyalurkan energi ke rangkaian atau jaringan. Sedang elemen-elemen pasif adalah resistor, induktor dan kapasitor yaitu elemen-elemen rangkaian yang menyerap ataupun menyimpan energi dari sumber energi. Elemen-elemen tersebut dapat dihubungkan dalam hubungan seri, parallel atau kombinasi keduanya.



(a) (b) (c)

Gambar 3.1 Elemen Aktif

Gambar 3.1 (a) memperlihatkan symbol elemen aktif, catu daya atau sumber tegangan arus bolak-balik (AC), 3.1 (b) dan 3.1 (c) memperlihatkan symbol sumber tegangan searah (DC).



(a) (b) (c)

Gambar 3.2 Elemen Pasif (a) Resistor, (b) indusktor, (c) kapasitor

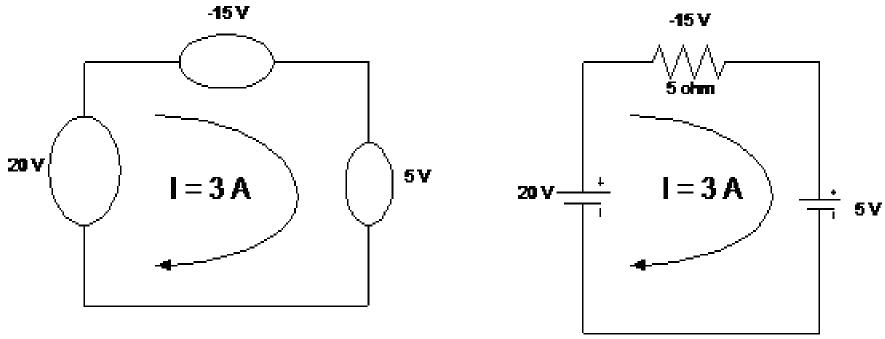
Kesepakatan Tanda

Bila suatu arus memasuki sebuah elemen rangkaian pada terminal bertanda positif (+) untuk tegangan U pada elemen tersebut, maka daya yang diserap adalah perkalian antara tegangan dan arus atau P = U x I.

Dalam Gambar 3.3, diketahui tegangan pada elemen A adalah Ua = 20 V, tegangan pada elemen B adalah Ub = -15 V dan tegangan pada elemen C adalah Uc = 5 V. Dapat diketahui besar daya yang diserap oleh elemen A yaitu:

P = Ua x I = - (20) x (3) = - 60 watt

Penyerapan negatif adalah emisi positif. Akibatnya, elemen A pastilah sebuah sumber tegangan. Daya yang diserap oleh elemen B adalah - (-15) x (3) = 45 watt dan pada elemen C adalah : +(5) x (3) = 15 watt.

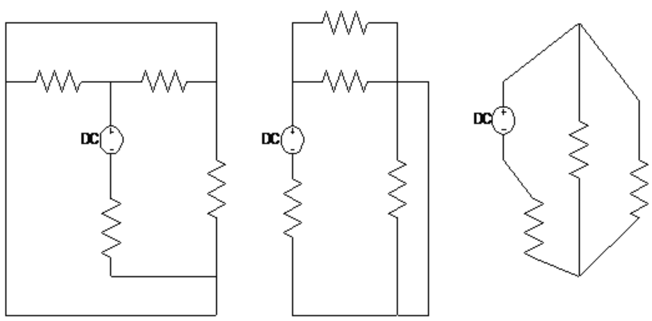


Gambar 3.3 Kesepakatan Tanda arah arus

Diagram Rangkaian

Setiap diagram rangkaian atau jaringan dapat terbentuk atau ditampilkan dalam berbagai cara. Jadi kadang-kadang rangkaian yang sama tetapi dapat ditampilkan dalam bentuk yang berbeda. Oleh karena itu dalam melakukan analisis rangkaian, sebaiknya memeriksa terlebih dahulu diagram rangkaiannya dan kalau perlu digambar kembali guna memperlihatkan dengan lebih jelas bagaimana elemen-elemen tersebut saling berhubungan sebelum memulai menyelesaikan masalahnya.

Diskusi 1: Diskusikan ketiga diagram rangkaian resistor seperti diperlihatkan dalam gambar 3.4. Ketiga diagram tersebut sama, tetapi tampilan dan susunan elemen-elemennya dibuat berbeda. Analisis daigran tersebut. Dengan sedikit kesabaran dan ketelitian maka akan terlihat bahwa ketiga rangkaian tersebut adalah sama dan sebangun.

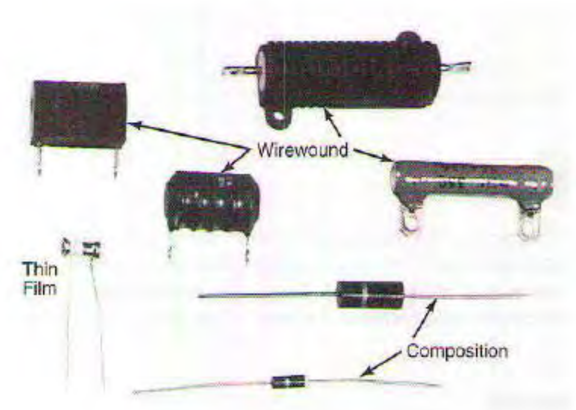


Gambar 3.4 Diagram Rangkaian Resistor

1.1. Resistor dan Resistansi

Hampir semua penghantar listrik terbuat dari metal atau logam. Tetapi tidak ada bahan yang dapat menjadi penghantar murni. Tetapi beberapa logam merupakan penghantar listrik yang lebih baik dibandingkan dengan lainnya. Perak, tembaga, dan alumunium merupakan penghantar yang bagus. Besi, baja, dan arang juga dapat menghantarkan arus listrik, tetapi resistansinya sangat tinggi. Arang (carbon) seringkali digunakan dalam rangkaian listrik, tetapi bukan penghantar yang bagus.

Penghantar yang sangat jelek lazim disebut sebagai resistor atau resistan atau tahanan atau penghambat. Resistor tidak memiliki elektron bebas atau sangat sedikit elektron bebas pada atomnya. Jadi sangat sulit bagi elektron bebas tersebut bergerak melewati ataom lainnya. Resistor atau tahanan adalah bahan listrik yang mempunyai daya hantar listrik rendah atau mempunyai resistansi tinggi. Karena nilai resitansinya tinggi maka resistor sering digunakan sebagai pembatas arus listrik. Bahan listrik yang sering digunakan sebagai resitor adalah arang atau karbon, dan nichrom.Dalam prakteknya untuk keperluan pengontrolan arus listrik digunakan resistor-resistor praktis yang didesain dalam berbagai harga. Satuan praktis dari resistor adalah Ohm.



Gambar 3.5 Resistor

Resistan listrik diukur dalam satuan ohm. Di mana satuan ohm menyatakan jumlah resistan pada suatu rangkaian listrik. Resistan sebesar satu ohm memungkinkan adanya emf sebesar satu volt yang menyebabkan terjadinya aliran arus melalui rangkaian tersebut sebesar satu amper. Simbol yang digunakan untuk menyatakan satuan ohm adalah Ω.

Nilai resistan listrik pada suatu konduktor tergantung pada empat aspek berikut:

- Bahan yang digunakan
- Diameter atau ukuran konduktor
- Panjang konduktor
- Suhu konduktor

Besarnya nilai resistansi suatu bahan konduktor dapat dihitung denganmenggunakan persamaan :

$$R = \frac{l \text{ x } \rho}{A}$$

dimana :

R : resistansikonduktor, diukur dalam satuan ohm

ρ : resistivitasbahan, dalam satuan ohm.mm^2/m

l : panjang konduktor, diukur dalam satuan meter (m)

A : luas penampang kawat penghantar, dalam satuan mm^2

Tugas Praktek1: Tugas yang harus kalian selesaikan dengan sebaik-baiknya kali ini berkaitan dengan sifat fisik dan sifat elektrik resistor. Ada berbagai jenis resistor. Berupayalah secara maksimal dengan menggunakan fasilitas yang ada untuk memperoleh data-data nyata nilai resistivitas dan resistansi. Jika sudah selesai presentasikan di kelas untuk dilakukan pembahasan bersama dengan kelompok lainnya.

Tugas Praktek 2: Tugas yang harus kalian selesaikan dengan sebaik-baiknya kali ini berkaitan dengan pengaruh suhu terhadap nilai resistansi resistor. Berupayalah secara maksimal dengan menggunakan fasilitas yang ada untuk memperoleh data-data nyata tentang pengaruh suhu terhadap nilai resistivitas. Fasilitas yang diperlukan terdiri dari sebuah lampu pijar 24V, ampermeter dan catu daya 0-24 V (regulated power supply). Guru kalian akan mendemonstrasikan percobaan ini, dan kalian harus mengumpulkan data hasil percobaan, dengan menggunakan instrumen pengumpul data sebagai berikut. Berdasarkan data hasil pengamatan buat kesimpulan dan jika sudah selesai presentasikan di kelas untuk dilakukan pembahasan bersama dengan kelompok lainnya.

Instrumen Pengunpul Data:

No	Tegangan Lampu	Arus lampu	Resistansi Lampu
1	0 V		
2	3V		
3	6V		
4	9V		
5	12V		
6	15V		
7	18V		
8	21V		
9	24V		

Pengaruh Suhu terhadap nilai Resitansi adalah

- menaikkan niali resistivitas pengantar logam murni dan logam campuran
- menurunkan nilai resistivitas penghantar non logam seperti elektrolit dan karbon serta bahan isolator seperti kertas, karet, gelas dan mika.

Misalkan, suatu resistor pada suhu t_0 mempunyai resistansi R_0. Bila suhu resistor naik menjadi t_1, maka nilai resistansinya naik menjadi R_t. Dalam hal ini ada keanikan milai resistansi sebesar dR, di mana:

$$\delta R = R_t - R_o \text{ atau}$$

$$\delta R = \alpha \text{ x } R_o \ x \ dt$$

di mana

α adalah konstanta yang disebut sebagai koefisien suhu

dt adalah besarnya kenaikan suhu ($t_1 - t_0$)

Sehingga dapat dituliskan:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \ x \ dt)$$

Pengaruh suhu ini ternyata juga terjadi pada nilai resistivitas bahan konduktor dari logam (timbal, sodium, tembaga dan alumunium).

Misalkan pada t_0 nilai resitivitasnya adalah ρ_0, maka pada t_1 menjadi ρ_1.

1.2. Induktor dan Induktansi

Induktor adalah sebuah elemen pasif rangkaian yang dapat menyimpan energi. Induktor berbentuk sebuah lilitan yang terbuat dari bahan konduktor (tembaga) yang dililitkan pada suatu bahan fero magnetik. Sebagai contoh belitan transformator, belitan motor dan alat-alat lain yang serupa.

Sebuah induktor atau reaktor adalah sebuah komponen elektronika pasif (kebanyakan berbentuk torus) yang dapat menyimpan energi pada medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melintasinya. Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet ditentukan oleh induktansinya (L), yang diukur dalam satuan Henry. Biasanya sebuah induktor adalah sebuah kawat penghantar yang dibentuk menjadi kumparan, lilitan membantu membuat medan magnet yang kuat di dalam kumparan dikarenakan hukum induksi Faraday. Induktor adalah salah satu komponen elektronik dasar yang digunakan dalam rangkaian yang arus dan tegangannya berubah-ubah dikarenakan kemampuan induktor untuk memproses arus bolak-balik.

Sebuah induktor ideal memiliki induktansi, tetapi tanpa resistansi atau kapasitansi, dan hanya menyerap daya disipatif relatif kecil. Sebuah induktor pada kenyataanya memiliki induktansi dan resistansi. Pada suatu frekuensi, induktor dapat menjadi sirkuit resonansi karena kapasitas parasitnya. Selain menyerap daya disipatif pada resistansi kawat, induktor berinti magnet juga menyerap daya di dalam inti karena efek histeresis, dan pada arus tinggi mungkin mengalami nonlinearitas karena adanya kejenuhan magnetik.

Tugas Praktek 3:

Tugas percobaan 3 berkaitan dengan induktor. Tugas kalian adalah memeriksa nilai induktansi induktor dengan menggunakan alat ukur LCR-meter. Kemudian dilanjutkan dengan mengamati dan mengidentifikasi bahan dasar yang digunakan pada masing-masing induktor dengan cara membongkar kemasannya. Jika sudah selesai kalian harus mempresentasikan hasil keseluruhan pengamatannya di kelas untuk dilakukan pembahasan bersama dengan kelompok lainnya.

Induktansi (L) (diukur dalam Henry) adalah efek dari medan magnet yang terbentuk disekitar konduktor pembawa arus yang bersifat menahan perubahan arus. Arus listrik yang melewati konduktor membuat medan magnet sebanding dengan besar arus. Perubahan dalam arus menyebabkan perubahan medan magnet yang mengakibatkan gaya elektromotif lawan melalui GGL induksi yang bersifat menentang perubahan arus. Induktansi diukur berdasarkan jumlah gaya elektromotif yang ditimbulkan untuk setiap perubahan arus terhadap waktu. Sebagai contoh, sebuah induktor dengan induktansi 1 Henry menimbulkan gaya elektromotif sebesar 1 volt saat arus dalam indukutor berubah dengan kecepatan 1 ampere setiap sekon. Jumlah lilitan, ukuran lilitan, dan material inti menentukan induktansi.

Pada mata pelajaran fisika kalian pernah mempelajari tentang induktor. Coba kalian gali lagi ingatan kalian tentang induktor. Induktor adalah elemen pasif yang berbasis pada variasi medanmaknit yang ditimbulkan oleh arus. Pada kumparan dengan jumlah lilitan$N$, dan dialiri arus sebesar iL , akan timbul fluksi magnit sebesar $\phi = kNi_L$, dengan k adalah suatu konstanta tergantung pada sifat magentik dari bahan yang digunakan, N adalah jumlah lilitan, dan iL adalah arus yang diterima induktor.



Gambar 3.6 Berbagai Tipe Induktor

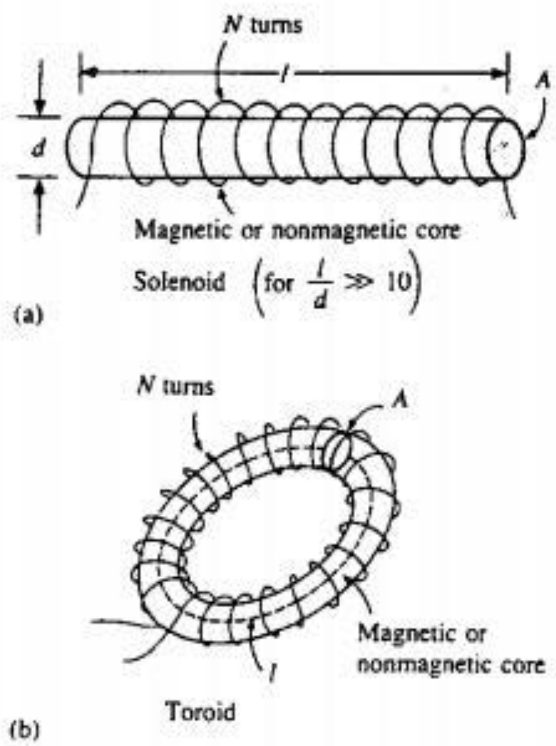
Konstruksi Induktor

Sebuah induktor biasanya dikonstruksi sebagai sebuah lilitan dari bahan penghantar, biasanya kawat tembaga, digulung pada inti magnet berupa udara atau bahan feromagnetik. Bahan inti yang mempunyai permeabilitas magnet yang lebih tinggi dari udara meningkatkan medan magnet dan menjaganya tetap dekat pada induktor, sehingga meningkatkan induktansi induktor. Induktor frekuensi rendah dibuat dengan menggunakan baja laminasi untuk menekan arus eddy. Ferit lunak biasanya digunakan sebagai inti pada induktor frekuensi tingi, dikarenakan ferit tidak menyebabkan kerugian daya pada frekuensi tinggi seperti pada inti besi. Ini dikarenakan ferit mempunyai lengkung histeresis yang sempit dan resistivitasnya yang tinggi mencegah arus eddy.

Induktor dibuat dengan berbagai bentuk. Sebagian besar dikonstruksi dengan menggulung kawat tembaga email disekitar bahan inti dengan kaki-kaki atau terminal kawat keluar. Beberapa jenis menutup penuh gulungan kawat di dalam material inti, dinamakan induktor terselubungi. Beberapa induktor mempunyai inti yang dapat diubah letaknya, yang memungkinkan pengubahan induktansi. Induktor

yang digunakan untuk menahan frekuensi sangat tinggi biasanya dibuat dengan melilitkan tabung atau manik-manik ferit pada kabel transmisi.

Induktor kecil dapat dicetak langsung pada papan rangkaian cetak dengan membuat jalur tembaga berbentuk spiral. Beberapa induktor dapat dibentuk pada rangkaian terintegrasi menhan menggunakan inti planar. Tetapi bentuknya yang kecil membatasi induktansi. Dan girator dapat menjadi pilihan alternatif.



Gambar 3.7 Konstruksi Induktor

Macam-macam induktor umumnya dibedakan berdasar inti yg dipakainya, yaitu:

1) Induktor-inti-udara / air-core-inductor
2) Induktor-frekuensi-radio / radio-frequency-inductor
3) Induktor-inti-Feromagnetik / ferromagnetic-core-inductor
4) Induktor-Variabel / Variable-inductor
5) Induktor-inti-Laminasi / Laminated-core-inductor
6) Induktor-inti-toroida / Toroidak-core-inductor

7) Induktor-inti-ferit / Ferrite-core-inductor

Kemampuan sebuah induktor untuk melawan sembarang perubahan arus merupakan ukuran induktansi diri suatu kumparan. Untuk keperluan praktis biasanya hanya disebut sebagai induktansi yang disimbolkan dengan huruf L. Induktansi diukur dalam satuan Henry. Induktor adalah kumparan magnetik dengan bermacam-macam ukuran yang dirancang untuk menghasilkan sejumlah nilai induktansi. Untuk meningkatkan nilai induktansinya, lazimnya digunakan bahan feromagnetik.

Kalau pada resistor, ia hanya memiliki nilai resistansi maka pada induktor dia memiliki nilai resistansi (R) dan nilai induktansi (L). Di mana besarnya nilai induktansinya tergantung pada jumlah lilitan (N), luas penampang lilitannya (A) dan panjang sumbu lilitannya (l). Secara matematik hubungannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$L = \frac{(\mu \, x \, N^2 \; x \, A)}{l}$$

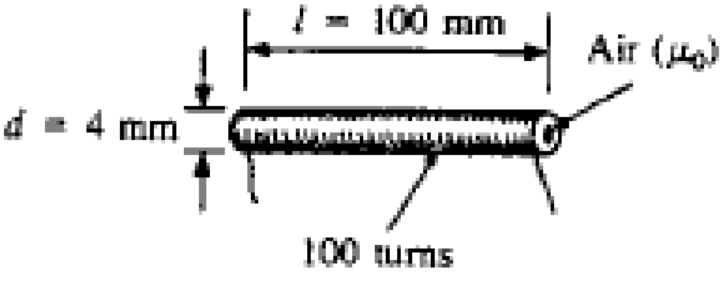
$$L = \mu_r \frac{N^2 \mu_o A}{l}$$

μo adalah permeabilitas udara → $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m

μr adalah permeabilitas bahan feromagnetik

Contoh

Tentukan induktansi kumparan inti besi seperti gambar berikut:



Penyelesaian:

$$\mu = \mu r \mu o = (1)(\mu o) = \mu o$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{(3{,}1416)(4x10^{-3})^2}{4} = 12{,}57x10^{-6}\ m^2$$

$$Lo = \frac{N^2 \mu o A}{l} = \frac{(100)2(4\pi x10^{-7})(12{,}57x10^{-6}}{0{,}1} = 1{,}58\mu H$$

Jika induktor tersebut dipasang inti besi sedemikian rupa sehingga nilai μr =2000.

Maka nilai induktansinya menjadi:

L = μrLo = (2000)(1,58x10^{-6}) = 3,16 mH.

Induktor merupakan elemen pasif yang mempunyai sifat dapat menyimpan energi seperti halnya energi yang tersimpan pad pegas. Adalah M. Faraday sarjana ekperimentalis dari Inggris yang menemukan gejala unik dari induktor dan induktansi. Bahwa medan magnetik yang selalu berubah setiap saat dapat menginduksikan tegangan di dalam rangkaian yang berdekatan. Faraday dapat menunjukkan bahwa besarnya tegangan induksi sebanding dengan laju perubahan arus terhadap waktu yang menghasilkan medan magnet tersebut dan suatu konstanta yang kemudian disebut sebagai induktansi (L), sehingga

$$v = L\,x\,\frac{di}{dt}$$

1.3. Kapasitor dan Kapasitansi

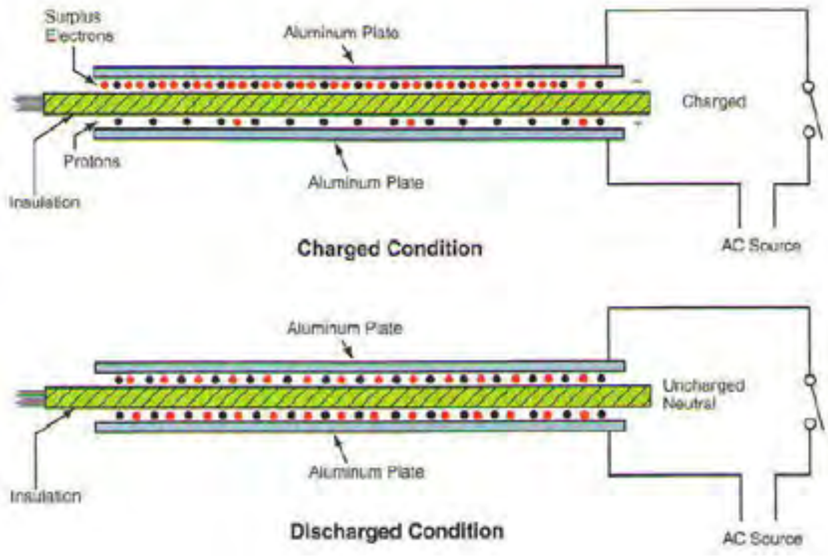
Kapasitan dapat didefinisikan sebagai suatu sistem kombinasi dari konduktor dan isolator yang bisa menyimpan listrik (elektron bebas). Kemampuannya tersebut diindikasikan denga huruf C. Satuan kapasitas dinyatakan dalam farad. Simbol farad adalah huruf F kapital. Satu farad dapat dinyatakan sebagai pengisian listrik (charge) sebesar satu Coulomb pada permukaan kapasitor dengan perbedaan potensial sebesar satu volt antara kedua pelat.

Tugas Praktek 4:

Tugas praktek 4 berakitan dengan kapasitor atau kondensator. Tugas kalian memeriksa nilai kapasitansi dua kapasitor yang berbeda kapasitansinya dengan menggunakan alat ukur LCR-meter. Pertama-tama kalian harus mengukur nilai kapasitansi masing-masing kapasitor dan kemudian mengukur kapasitansi total jika kedua kapasitor terhubung seri atau paralel. Kemudian dilanjutkan dengan mengidentifikasikan berbagai jenis kapasitor yang ada di pasaran, menguraikan spesifikasi dari berbagai kapasitor tersebut berikut kegunaannya dan dilanjutkan dengan mengidentifikasi bahan dasar yang digunakan pada masing-masing kapasitor dengan cara membongkar kemasannya. Jika sudah selesai kaalian harus mempresentasikan hasil keseluruhan pengamatannya di kelas untuk dilakukan pembahasan bersama dengan kelompok lainnya.

Satuan Kapasitansi

Satuan Farad merupakan satuan yang agak besar jika diterapkan pada suatu unit kapasitor. Biasanya kapasitor yang digunakan di berbagai peralatan listrik dan refrijerasi dinilaikan dalam ukuran mikrofarad (μF). Setiap perangkat yang memiliki kapasitan (menyimpan elekron bebas) disebut kapasitor. Kapasitor berskala besar terbuat dari permukaan metal seperti aluminium foil yang dipisahkan oleh baha isolasi (dielektrik), seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.8. Kapasitor diklasifikasikan berdasarkan bahan yang digunakan sebagai dielektrikum. Bahan dielektrikum yang lazim digunakan adalah udara, kertas, oli, keramik, dan elektrolid.



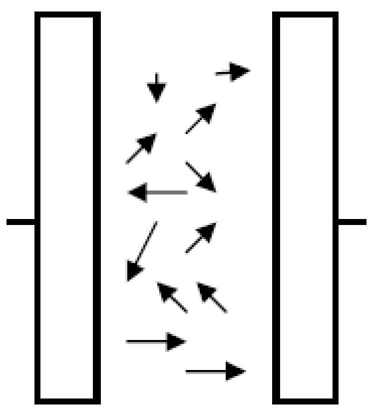
Gambar 3.8 Konstruksi Kapasitor

Kapasitor yang terhubung secara seri dengan beban listrik dalam suatu rangkaian listrik, dapat merubah gelombang sinusoida dan membuat gelombang arus listrik mendahului gelombang tegangan listrik. Kapasitor digunakan untuk meningkatkan torsi motor satu fasa, meningkatkan efisiensi, dan perbaikan faktor kerja. Pembahasan lebih mendalam masalah ini akan diberikan di Dasar dan Pengukuran Listrik 2.

Kapasitor adalah komponen listrik/elektronika yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik, dan secara sederhana terdiri dari dua konduktor yang dipisahkan oleh bahan penyekat (bahan dielektrik). Kapasitor atau disebut juga kondensator adalah alat (komponen) listrik yang dibuat sedemikian rupa sehingga mampu menyimpan muatan listrik untuk sementara waktu. Kapasitor yang paling sederhana adalah kapasitor yang dibentuk oleh dua pelat konduktor.Pada prinsipnya sebuah kapasitor terdiri atas dua konduktor (lempeng logam) yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator). Isolator penyekat ini sering disebut bahan (zat) dielektrik.Zat dielektrik yang digunakan untuk menyekat kedua penghantar dapat digunakan untuk membedakan jenis kapasitor. Beberapa kapasitor menggunakan bahan dielektrik berupa kertas, mika, plastik cairan dan lain sebagainya.

Karena sifatnya yang dapat menyimpan energi, maka kapasitor lazim digunakan sebagai cadangan energi ketika sikuit elektronika terputus secara-tiba-tiba. Hal inikarena adanya arus transien pada kapasitor. Pada alat penerima radio,kapasitor bersama komponen elektronika lain dapat digunakan sebagai penyaring frekuensi dan filter gelombang, selain dapat juga sebagaikomponen pada sirkuit penyearah arus/tegangan ac menjadi dc atau disebutdengan penghalus riak sehingga alat-alat elektronik bisa digunakandengan tegangan bolak-balik (PLN) tanpa baterai. Kapasitor juga dapat digunakansebagai komponen pemberi cahaya singkat pada blitz kamera.

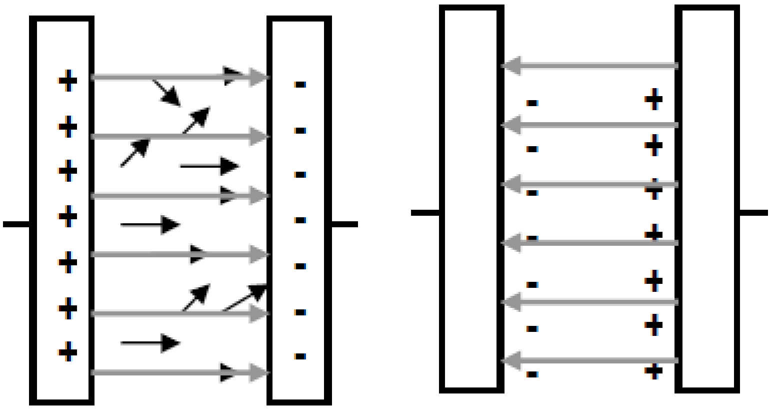
Kapasitor (yang pada awalnya disebut kondensator) secara struktur prinsipnya terdiri dari dua buah pelat konduktor yang berlawanan muatan,masing-masing memiliki luas permukaan A, dan mempunyai muatan persatuan luas σ. Konduktor yang dipisahkan oleh sebuah zat dielektrik yangbersifat isolator sejauh d. Zat inilah yang nantinya akan memerangkap elektron-elektron bebas. Muatan berada pada permukaankonduktor yang jumlah totalnya adalah nol. Hal ini disebabkan jumlahmuatan negatif dan positif sama besar. Bahan dielektrik adalah bahan yangjika tidak terdapat medan listrik bersifat isolator, namun jika ada medanlistrik yang melewatinya, maka akan terbentuk dipol-dipol listrik, yang arahmedan magnetnya melawan medan listrik semula.



Gambar 3.9 Plat Paralel Sebelum Terhubung dengan Sumber tegangan

Gambar 3.9 memperlihatkan dua plat paralel sebelum terhubung ke sumber tegangan. Sebelum adanya muatan pada kedua pelat, bahan dielektrik memiliki dipole acak sehingga bersifat isolator.

Setelah plat bermuatan yg menghasilkan medanl istrik ke arah kanan,muatan pada dielektrik terpolarisasi oleh medan listrik. Muatan positif perlahan-lahan menuju pelat negatif, dan muatan negatif ke pelat positif. Akibatnya terdapat medan listrik baru pada dielektrik yang melawan medan listrik semula yang saling menghilangkan,sehingga medan listrik total menjadi nol, dan arus berhenti mengalir.



Gambar 3.9 Plat Paralel sesudah terhubung dengan Sumber Tegangan

Bentuk dan jenis kapasitor beragam macamnya, namun untuk memudahkanpembahasan kita fokuskan pada satu jenis kapasitor saja yakni kapasitor pelatsejajar. Dari aspek bahan isolatorpun, jenis kapasitor beragam jenisnya,misalnya kapasitor berbahan keramik, poliester, polystyrene, teflon, tantalum,mika, dan lain-lain.

Kapasitas Kapasitor

Ketika kapasitor dihubungkan dengan sumber tegangan (misalnya baterai atau sumber tegangan yang lain) kapasitor akan menyimpan muatan. Besarnya kapasitas muatan yang tersimpan dalam kapasitor disebut kapasitas kapasitor. Besarnya

kapasitas kapasitor disebut kapasitansi. Kapasitas kapasitor adalah banyak muatan yang tersimpan dalam kapasitor ketika di hubungkan dengan beda potensial tertentu. Kapasitansi kapasitor disimbolkan dengan huruf C kapital, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

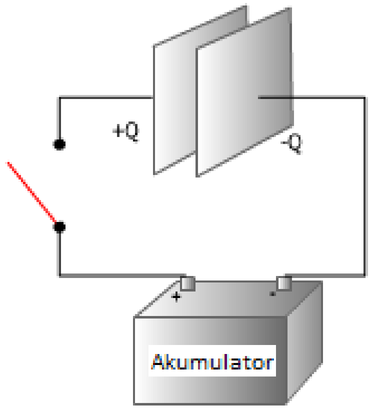
$$C = \frac{q}{U}$$

Di mana:

C = Kapasitas kapasitor, diukur dalam satuan farad

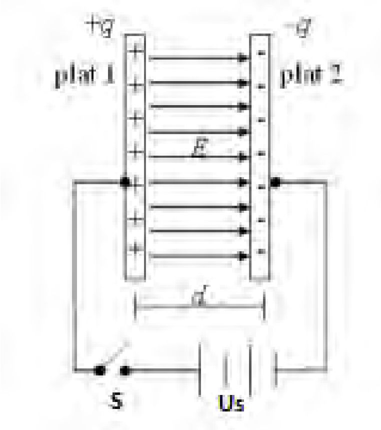
q = muatan yang tersimpan dalam kapasitor, diukur dalam satuan coulomb

U = beda potensial antar pelat kapasitor, diukur dalam satuan volt



Gambar3.10 Kapasitor Pelat Paralel

Marilah kita tinjau konfigurasi pelat sejajar seperti pada Gambar 3.8. Ketika saklar S ditutup, dalam ruang antara plat akan timbul medan listrik. Setelah beberapa saat pada plat 1 akan terkumpul muatan +q dan pada plat 2 muatan –q. Fenomena tersebut diperlihatkan dalam Gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.11 Gejala Kapasitor Pelat Paralel

Muatan dalam plat mencapai harga maksimum q setelah potensial plat 1 mencapai harga Us. Muatan maksimum q yang terkumpul pada plat sebanding dengan tegangan sumber Us. Kuat medan listrik yang timbul di antara plat adalah:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o}$$

Dengan $\sigma = \frac{q}{A}$, merupakan rapat muatan per satuan luas. Sehingga beda potensial antara plat adalah:

$$U = Ed = \frac{\sigma}{\varepsilon_o} d = \frac{qd}{\varepsilon_o A}$$, atau:

q= CV, dan

$$C = \varepsilon_o \frac{A}{d}$$

Untuk selanjutnya C disebut kapasitansi yang menyatakan kapasitas sistem kapasitor untuk menyimpan muatan atau juga medan listrik. Harga kapasitansi tergantung pada bentuk sistem kapasitornya, yaitu luas plat dan jarak antar plat. Satuan kapasitansi $\frac{C}{U}$ atau Farad (F).

Sistem kapasitif adalah sistem yang dapat menyimpan muatan atau medan listrik. Sedangkan kapasitor adalah sistem kapasitif yang dibuat agar mempunyai harga kapasitansi tertentu.

Contoh 1

Plat-plat sejajar sebuah kapasitor yang diisi dengan udara berjarak 1 mm satu dengan yang lain. Tentukan luas plat supaya kapasitansinya menjadi 1 F!

Jawab:

$$A = \frac{dC}{\varepsilon_o} = \frac{(1x10^{-3})(1)}{8,9x10^{-12}} = 1,1x10^{8} \text{ meter}$$

Ini adalah setara dengan bujursangkar yang sisi-sisnya lebih panjang dari 9,5 km. Jadi di sini satuan farad merupakan satuan yang sangat besar. Biasanya dalam praktek dipakai satuan mikrofarad (μF)

di mana 1 μF = 10-6 F.

Pada Umumnya besaran kapasitor C diukur dalam satuan mikrofarad (μF) atau pikofarad (pF). Hubungan antara farad,mikrofarad dan pikofarad dapat dinyatakan sebagai berikut:

1 μF = 10^{-6} F

1 pF = 10^{-12}F

Contoh:

Sebuah kapasitor dengan kapasitas 0,5 μF dimuati dengan baterai 12 volt. Hitunglah besar muatan yang tersimpan dalam kapasitor tersebut

Jawab:

C = 0,5 10^{-6}F

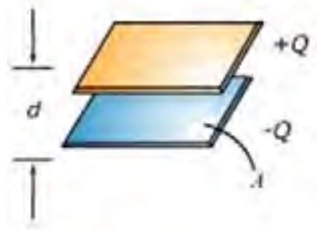
V = 12 V

$Q = C.V$

$= 0{,}5 \cdot 10^{-6}(12)$

$= 6.10^{-6}\ C$

Kapasitor yang paling sederhana adalah kapasitor keping sejajar yang terdiri dari 2 keping logam seluas A yang terpisah pada jarak d, seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 3.12 Plat Paralel

Pada keping sejajar nilai kapasitas kapasitor dinyatakan dengan formula:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$ atau

$$C = \varepsilon_o x \varepsilon_r \frac{A}{d}$$

Untuk penyekat udara ε_r=1, sehingga nilai kapasitas kapasitor adalah:

$$C = \varepsilon_o \frac{A}{d}$$

Di mana:

C = kapasitas pelat paralel, dalam farad

ε_r = permitivitas relatif bahan penyekat

ε = permitivitas bahan penyekat

ε_0 = permitivitas vakum = $8{,}5 \times 10^{-12} C^2/N^{-1}m^{-2}$

d = Jarak antar pelat paralel, dalam m

Contoh soal

Hitunglah kapasitansi keping sejajar dengan ukuran (0.1 m x 0.1m) yang berada di udara dengan jarak antar keeping 5 mm.

Dengan ε_0 = permitivitas vakum = 8,5 x $10^{-12} C^2/N^{-1}m^{-2}$

Jawab

A = 0,1 x 0,1 = 10^{-2} m^2

d = 5 x 10^{-3} m

$\varepsilon_r = 1$

Jadi :

$$C = \frac{10^{-2} x 8{,}85 x 10^{-12} x 1}{5 x 10^{-3}} = 1{,}77 x 10^{-11} = 17{,}7 pF$$

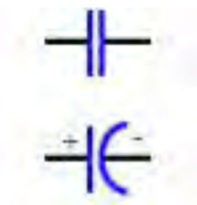
Kegunaan kapasitor dalam berbagai rangkaian listrik adalah:

a. mencegah loncatan bunga api listrik pada rangkaian yang mengandung kumparan, bila tiba-tiba arus listrik diputuskan dan dihubungkan.

b. menyimpan muatan atau energi listrik dalam rangkaian penyala elektronik

c. memilih panjang gelombang pada radio penerima

d. sebagai filter dalam rangkaian catu daya arus searah.



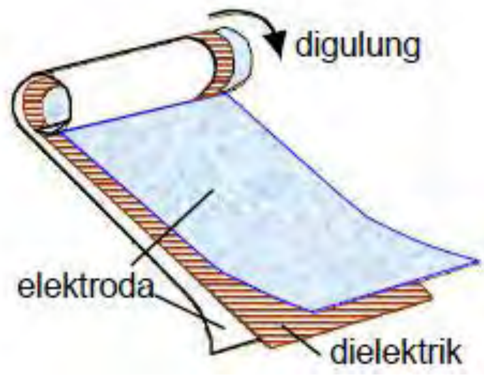
Gambar 3.13 Simbol Kapasitor

Macam-Macam Konstruksi Kapasitor

Kapasitor Pita Polimer.

Pada dasarnya kapasitor ini dibangun dari pita polimer sebagai dielektrik yang diletakkan diantara dua pita aluminium (alluminium foil) sebagai elektroda dan digulung untuk memperoleh luas elektroda yang diinginkan. Gulungan ini kemudiandimasukkan ke dalam tabung aluminium atau dilindungi dengan epoxy resin. Konstruksi lain adalah menggunakan lapisan aluminium yang diendapkan (melalui proses penguapan) langsung di permukaan pita polimer sebagai elektroda. Tebal pita polimer hanya beberapa mikron sedangkan tebal lapisan elektroda yangdiendapkan di permukaan polimer adalah sekitar 0.025 mm; dengan demikian efisiensi volume menjadi tinggi.

Polimer yang biasa digunakan adalah polystyrene, polypropylene,polyester, polycarbonate. Kapasitor jenis ini banyak dipakai. Kapasitor dengan dielektrikum polystyrene mempunyai faktor kerugian (tand) yang sangat rendah ($< 10^{-3}$). Kapasitansi yang bisa dicapai pada konstruksi ini adalah antara 10^{-5} - 10^{2} mF. Kertas dengan impregnasi juga sering digunakan juga sebagai dielektrik.

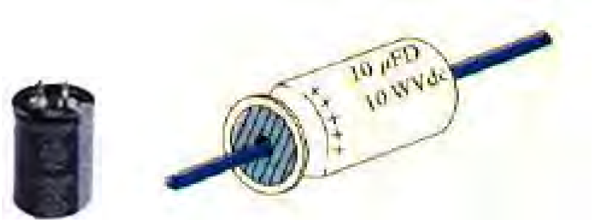


Gambar 3.13 Kapasitor Pita Polimer

Kapasitor Elektrolit Aluminium.

Kapasitor ini dibangun dari dua pita aluminium yang sangat murni dengan ketebalan sekitar 50 mm sebagai elektroda, dan diantara keduanya diletakkan kertas berpori,kemudian digulung membentuk silinder. Salah satu elektroda (yaitu anoda) mempunyai lapisan alumina dengan tebal sekitar 0.1 mm,yang dibentuk secara anodik. Gulungan ini dimasukkan ke dalamtabung silinder kemudian kertas berporinya di-impregnasi dengansuatu elektrolit (misalnya amonium pentaborat).

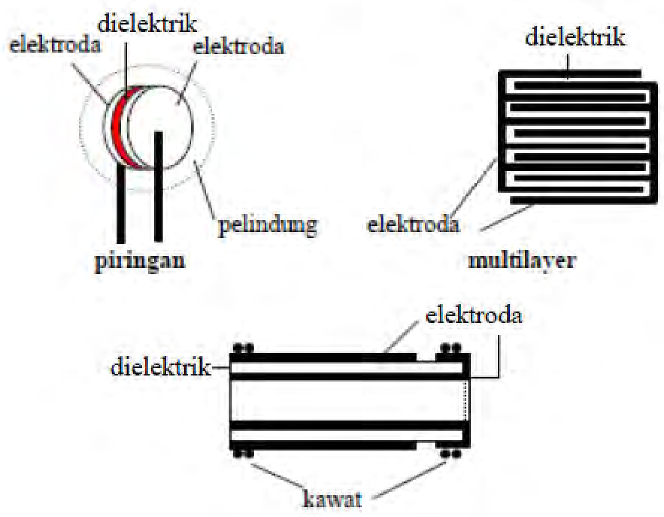
Dengan demikiantersusunlah kapasitor yang terdiri dari anoda pita aluminium, lapisanalumina sebagai dielektrik, serta elektrolit dan pita aluminium yanglain sebagai katoda. Dalam penggunaan anoda harus tetapberpotensial positif. Kapasitor ini dibuat dalam rentang nilai antara10^{-1} sampai 10^{4} mF.



Gambar 3.15 Kapasitor Elektrolit

Kapasitor Keramik.

Kapasitor keramik dibuat untuk penggunaan pada tegangan dan daya rendah maupun tegangan dan daya tinggi.Untuk tegangan rendah kita mengenal konstruksi piringan, konstruksi tabung, dan konstruksi multilayer.



Gambar 3.16 Kapasitor Keramik

Kapasitor Mika.

Konstruksi yang umum terdiri dari beberapa lempeng mika dengan ketebalan antara 0.25 sampai 50 mm sebagai dielektrik dengan lapisan perak sebagai elektroda yang disusun dan diklem membentuk satu susunan kapasitor terhubung paralel.Susunan ini

kemudian dibungkus dengan thermosetting resin untuk melindunginya dari kelembaban. Kapasitor jenis ini dibuat dalam rentang 10^{-5} sampai 10^{-1} mF.



Gambar 3.16 Berbagai jensi Kapasitor

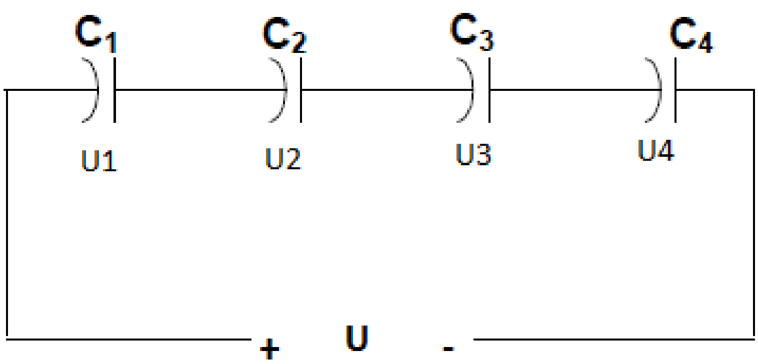
Tugas:

Diskusikan dengan teman sekelompokmu. Identifikasikan berbagai jenis kapasitor yang ada di pasaran. Uraikan spesifikasi dari berbagai kapasitor tersebut berikut kegunaannya. Jika telah selesai presentasikan di kleas.

Rangkaian Seri Kapasitor

Sebagaimana hambatan, rangkaian kapasitor dapat diklasifikasikanmenjadi dua jenis konfigurasi yakni, seri dan paralel, akan tetapi aturannyaberbeda dan bahkan kebalikan dari aturan resistor.

Kapasitor ekivalen (total/penggalnti dari sebuah rangkaian seri empat dapat dihitung sebagai berikut:



Gambar 3.17 Rangkaian Seri Kapasitor

Karena besarnya arus dalam sebuah rangkaian seri sama dalam setiapkapasitor sesuai dengan hukum Kirchoff, maka dengan demikian jumlahmuatan yang mengalirpun sama sehingga muatan di C1, C2 dan seterusnyakita sebut saja dengan Q1, Q2, dst akan sama besar: Q1=Q2=Q3=Q4.

Beda potensial total pada keempat kapasitor tersebut tidak lainadalah jumlah beda potensial dari masing-masing kapasitor yaitu : U = U1+U2+U3+U4

Karena hubungan : U = Q/C

Sehingga tegangan total dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} + \frac{Q_4}{C_4}$$

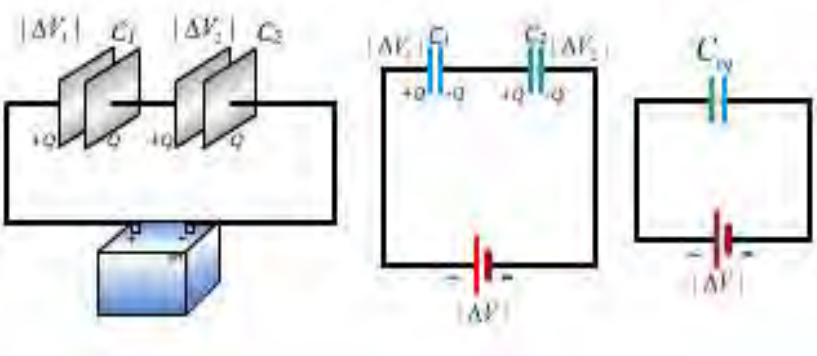
Karena muatan pada tiap kapasitor sama, maka diperoleh besarnya kapasitorekivalen/total untuk rangkaian seri, yaitu:

$$\frac{1}{Cs} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \ldots$$

$$C_4 = \frac{C_1C_2C_3C_4}{C_2C_3C_4 + C_1C_3C_4 + C_1C_2C_4 + C_1C_2C_3}$$

Rangkaian Seri Dua Kapasitor

Untuk memperjelas pembahasan di atas, berikut ini diulas lagi rangkaian seri dua kapasitor, dengan ilustrasi yang lebih rinci.



Gambar3.18 Rangkaian Seri Kapasitor

Pada rangkaian seri kapasitor berlaku ketentuan sebagai berikut:

- muatan pada tiap-tiap kapasitor adalah sama, yaitu sama dengan muatan pada kapasitor pengganti $q_s = q_1 = q_2 = ...$
- Beda potensial pada ujung-ujung kapasitor pengganti adalah sama dengan jumlah beda potensial ujung-ujung tiap kapasitor $V_s = V_1 + V_2 + ...$

Besarnya kapasitas kapasitor pengganti rangkaian seri dari beberapa buah kapasitor dapat dihitung sebagai berikut:

$V_s = V_1 + V_2 + ...$

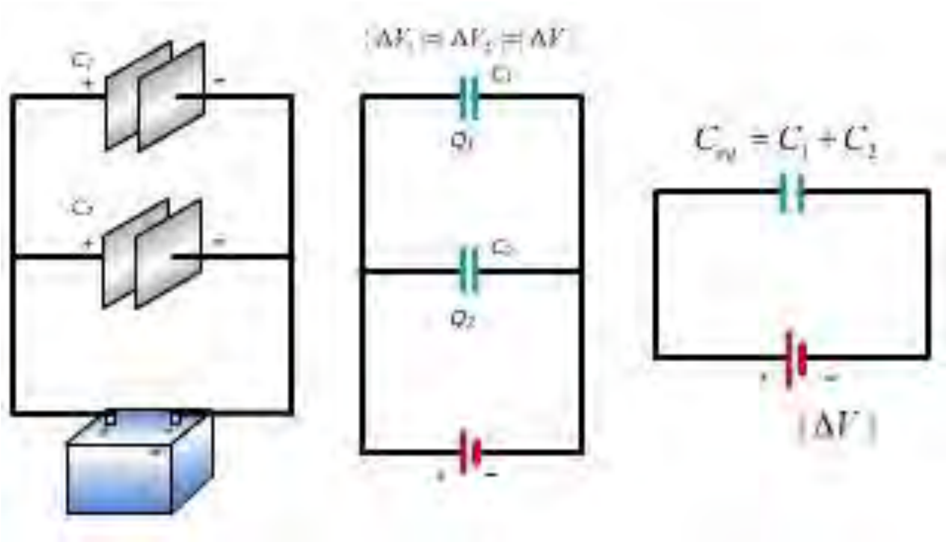
$$\frac{qs}{Cs} = \frac{q1}{C1} + \frac{q2}{C2} + ...$$

karena $q_s = q_1 = q_2 = ...$

maka:

$$\frac{1}{Cs} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + ...$$

Susunan Paralel Kapasitor



Gambar 3.19 Rangkaian Paralel Kapasitor

Pada rangkaian paralel kapasitor berlakuk ketentuan sebagai berikut:

- Beda potensial tiap-tiap kapasitor sama, yaitu sama dengan potensial sumber $V_p = V_1 = V_2 = ...$
- Muatan kapasitor pengganti sama dengan jumlah muatan tiap-tiap kapasitor $q_p = q_1 + q_2 ....$
- Untuk menentukan besar kapasitas kapasitor pengganti susunan paralel CP dari beberapa buah kapasitor dapat dihitung

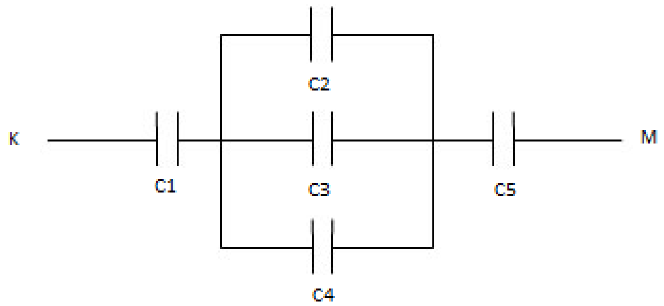
$q_s = q_1 + q_2 + ...$

$V_pV_p = C_1V_1 + C_2V_2 + ...$ karena $\rightarrow V_p = V_1 = V_2 = ...$

Maka $\rightarrow$ $Cp = C1 + C2 + ...$

Contoh Soal.

Dibawah ini tertera skema rangkaian 5 buah kapasitor yang sama besarnya. Tentukan kapasitas antara K dan M1



Gambar 3.20 Rangkaian Seri-paralel Kapasitor

Solusi:

Kapasitor ekivalen rangkaian paralel tiga kapasitor adalah:

Cp = 3 C

Kapasitor ekivalen rangkaian seri dua kapasitor dan Cp adalah:

$$\frac{1}{Ct} = \frac{1}{3C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{7}{3C}$$

Jadi

$$Ct = \frac{3}{7}C$$

Energi yang Tersimpan dalam Kapasitor

Semua konfigurasi muatan mempunyai suatu energi potensial listrik U yang spesifik. Energi ini besarnya sama dengan kerja W yang harus dilakukan untuk mengumpulkan muatan-muatan tersebut dari masing-masing komponennya, yang pada mulanya dianggap berjarak tak hingga satu sama lain dan berada dalam keadaan diam.

Marilah kita tinjau proses pengisian dan pengosongan pada kapasitor. Kerja harus dilakukan untuk memisahkan dua muatan yang sama besar dan berlawanan tandanya. Energi ini disimpan dalam sistem dan dapat diperoleh kembali jika muatan-muatan tersebut mendapat kesempatan lagi untuk berkumpul bersama.

Dengan cara yang serupa, kapasitor yang dimuati telah menyimpan energi potensial yang sama besarnya dengan kerja yang diperlukan untuk memuati kapasitor tersbut. Energi ini bisadigunakan kembali jika kapasitor tersebut diberi kesempatan untuk mengosongkan muatannya. Biasanya kerja untuk memuati dilakukan oleh baterai atau akumulator, dengan memanfaatkan energi kimia dalam baterai tersebut.

Misalkan pada waktu t sebuah muatan q'(t) telah dipindahkan dari sebuah plat ke plat lain. Beda potensialnya menjadi U(t) = q'(t)/C. Jika suatu penambahan

muatan ekstra dq’ dipindahkan, maka sejumlah kecil kerja tambahan yang diperlukan adalah:

dW =Udq = (q’/C)dq’.

Jika proses ini diteruskan sampai muatan total q dipindahkan maka kerja totalnya adalah:

$$W = \int dW = \int_0^q \frac{q'}{C} dq' = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$$

Dari persamaan q=CU, didapat:

W= U = ½ CU^2

Di dalam sebuah kapasitor plat sejajar, dengan mengabaikan pinggiran, medan listrik di antara plat-platnya bersifat uniform, yaitu mempunyai nilai sama di semua titik. Maka kerapatan energinya, yang juga harus uniform, dapat ditulis:

$$u = \frac{U}{Ad} = \frac{1/2.CV^2}{Ad}$$

Dengan Ad adalah volume di antara plat-plat. Dari hubungan C = ε_oA/d dan E= U/d, maka persamaan di atas dapat dituliskan sebagai : $u = ½\, \varepsilon_o E^2$

Persamaan di atas berlaku umum, yaitu jika sebuah medan listrik E terdapat pada setiap titik di dalam ruang hampa udara, maka titik-titik tersebut dapat dipikirkan sebagai tempat tersimpannya energi yang besarnya persatuan volume adalah:

$½\, \varepsilon_o E^2$

Energi yang tersimpan dalam kapasitor (W) dinyatakan dengan persamaan:

$$W = \frac{1}{2} q^2 x \frac{1}{C}$$

$$W = \frac{1}{2} qxU$$

$$W = \frac{1}{2} CU^2$$

Keterangan:

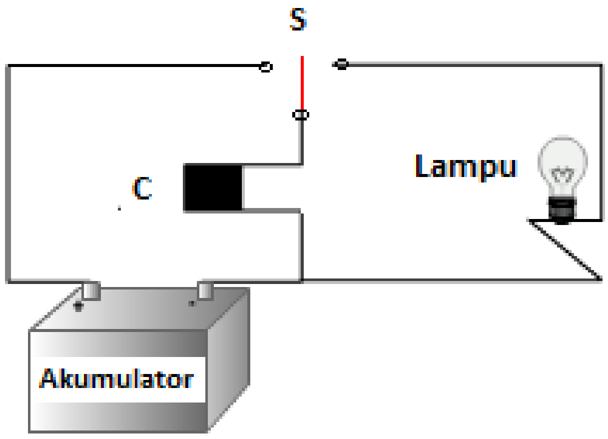
W = energi yang tersimpan dalam kapasitor, dalam joule

q = muatan pada kapasitor, dalam coulomb

C = kapasitas kapasitor, dalam farad

U = beda potensial, dalam volt

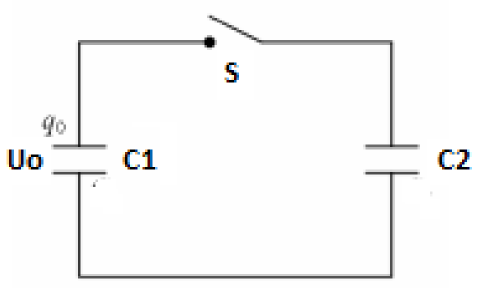
Gambar 3.21 memperlihatkan rangkaian percobaan sederhana untuk membuktikan fenomena energi yang tersimpan dalam kapasitor.



Gambar 3.21Fenomena Energi Tersimpan dalam Kapasitor

Contoh Soal 1:

Sebuah kapasitor C1 dimuati sampai perbedaan potensial U_0. Kemudian baterai pemuat diputuskan dan kapasitor dihubungkan dengan sebuah kapasitor C2 yang tak bermuatan seperti pada Gambar 3.22. Tentukan beda potensial akhir V dan energi tersimpan sebelum dan sesudah saklar S ditutup.



Gambar 3.22 Pengisian dan pengosongan Muatan Kapasitor

Jawab:

Muatan asal q_0 dibagi oleh kedua kapasitor, sehingga:

$$q_0 = q_1 + q_2$$

$$C_1Uo = C_1U + C_2U$$

$$U = Uo\frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

Energi awal adalah:

$$Uo = \frac{1}{2}C_1Uo^2$$

Energi akhir adalah:

$$U = \frac{1}{2}C_{ek}U^2 = \frac{1}{2}(C_1 + C_2)\left(Uo\frac{C_1}{C_1 + C_2}\right)^2 = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2}\right)Uo$$

Contoh soal 2:

Sebuah kapasitor pelat sejajar mempunyai kapasitansi sebesar 1,0 F. Jika pelat-pelat itu terpisah 1,0 mm, berapakah luas pelat-pelat tsb?

Penyelesaian:

Diketahui: C = 1,0 F dan d = 1,0 x 10^{-3} m

Ditanya: A = ?

Jawab: C = (ε_ox A)/d   atau

A = Cd / ε_o= (1,0 F)(1,0 x 10^{-3} m) / (8,85 x 10^{-12} F/m)

= 1,1 x 10^{8} m^2

Contoh Soal 3:

Pelat-pelat sebuah kapasitor pelat sejajar dalam ruang hampa terpisah sejauh 5 mm dan luasnya 2 m^2. Sebuah selisih potensial 10 kV diaplikasikan sepanjang kapasitor itu. Hitunglah a) kapasitansi b) muatan pada setiap pelat c) medan listrik dalam ruang di antara pelat-pelat itu.

Penyelesaian:

Diketahui : d = 5 x 10^{-3} m, A = 2m^2, dan U = 10x10^3 V

Ditanya: C, Q, dan E?

Jawab:

$$C = \frac{\varepsilon_o A}{d} = \frac{(8{,}85x10^{-12} F/m)(2m^2)}{(5x10^{-3} m)} = 3{,}54\, x\, 10^{-9} \text{ F}$$

$Q = CVab =$ (3,54 x 10-9 C/V)(1 x 10^{-4} V) = 3,54 x 10^{-5} C

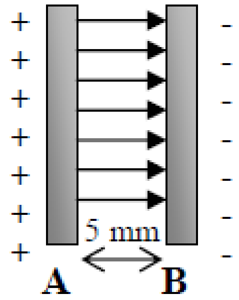
Muatan pada kapasitor tersebut adalah + 3,54 x 10^{-5} C dan - 3,54 x 10^{-5} C

Besarnya medan listrik E adalah:

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_o A} = \frac{3{,}54x10^{-5} C}{(8{,}85x10^{-12} F/m)(2m^2)} = 2x10^6 \text{ N/C}$$

Permasalahan:

1. Pada gambar di bawah beda potensial antar pelat adalah 40 V.

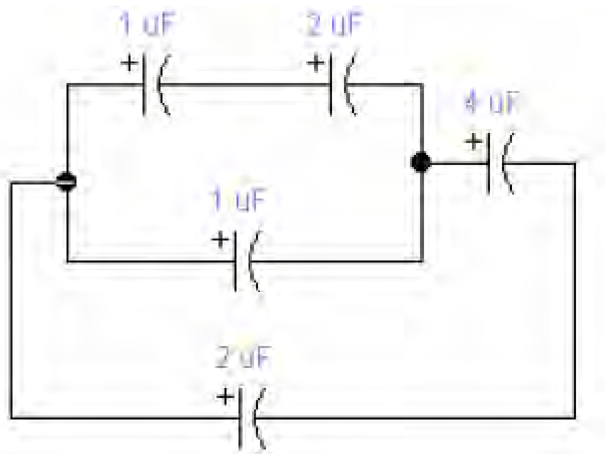


a. Manakah yang memilki potensial lebih tinggi ?

b. Berapakah usaha yang diperlukan untuk membawa suatu muatan +3Cdari B ke A dan dari A ke B

c. Bila jarak antar pelat 5 mm, berapakah besarnya medan antar pelat ?

2. Hitung kapasitansi ekivalen dari rangkaian kapasitor di bawah ini :



3. Kapasitor keping terdiri dari dua keping sejajar, masing-masing luasnya 240 cm^2, berjarak 0,5 cm dalam udara.

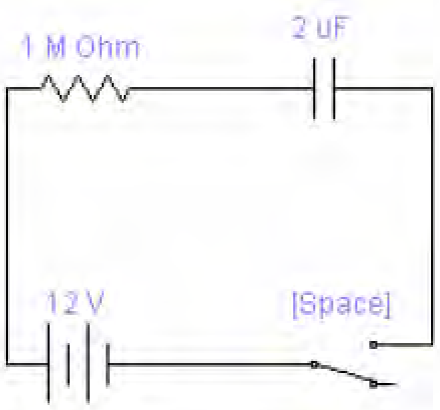
a. Berapakah kapasitansinya ?

b. Jika kapasitor dihubungkan dengan sumber 500 V, berapakah muatanyang terhimpun di dalamnya

c. Berapa energi di dalamnya

d. Berapa medan listrik diantara pelat

4. Sebuah rangkaian RC dengan R = 1 MΩ dan C = 2 μF terhubung pada sumbertegangan arus searah 12 V seperti pada gambar di bawah. Jika saklar dihubungkan, hitunglah :



a. Arus awal (sebelum terjadi penurunan secara transien)

b. Konstanta waktu τ

c. Hitung arus setelah 2 detik kemudian

d. Muatan yang terkumpul pada kapasitor saat kapasitor penuh

5. Sebuah baterai 12 volt digunakan untuk mengisi kapasitor dalam suaturangkaian RC, dengan C = 2μF dan R = 100 Ω, hitunglah :

a. Konstanta waktu dari rangkaian RC

b. Arus mula-mula

c. Besarnya muatan akhir yang terisi pada kapasitor

6. Suatu rangkaian seri terdiri dari baterai 12 volt, resistor 1 MΩ dan sebuahkapasitor 7 μF serta sebuah sakelar. Ketika sakelar ditutup, hitunglah :

a. Arus mula-mula

b. Konstanta waktu

c. Muatan dalam kapasitor saat $t = \tau$

d. Muatan akhir kapasitor

7. Kapasitor dengan kapasitansi 10 μF diisi dengan muatan sehinggaberpotensial 11 kV. Kemudian kapasitor tersebut dirangkai seri dengansebuah resistor 6 MΩ (tanpa baterai), hitunglah :

   a. Arus mula-mula

   b. Waktu yang diperlukan untuk mencapai beda potensial 37% dari nilai awal

8. Sebuah kapasitor diisi penuh hingga memiliki beda potensial 2 Mvolt,kemudian dibiarkan melepas muatan melalui resistor, berapakah bedapotensialnya setelah 10 kali τ ?

9. Suatu kapasitor 10 μF diisi oleh sebuah baterai 50 V dan dengan hambatansebesar 10 MΩ, hitunglah :

   a. Muatan pada kapasitor

   b. Arus pada hambatan setelah 50 detik

10. Suatu kapasitor yang telah berisi muatan dihubungkan seri dengan suatuhambatan 10 kΩ sehingga muatannya terlepas, hingga setelah 10 detikbeda-potensial kapasitor tinggal 0,40 dari nilai awalnya. Berapakahkapasitansi dari kapasitor tersebut ?

2. Rangkaian Resistor dalam Seri, Paralel, dan Kombinasi

Untuk mempelari materi ini, kalian harus melakukan pengamatan dan memeriksa parameter rangkaian arus searah yang terdiri dari beberapa resistor yang terhubung seri, paralel, dan kombinasi seri-paralel dalam sebuah eksperimen yang telah disiapkan oleh guru. Melalui eksperimen ini, kalian akan memeriksa parameter rangkaian arus searah meliputi arus, tegangan, dan resistan dalam suatu rangkaian resistor yang terhubung seri, paralel, dan kombinasi seri-paralel. Untuk itu, kalian harus melakukan tugas ini secara berkelompok.

Petunjuk:

Resistor berfungsi untuk menghambat arus dan membagi tegangan, nilai nominal resistansi dan toleransi suatu resistor ditunjukkan oleh pita kode warna pada badan resistor tersebut.

Warna pertama dan kedua merupakan nilai satuan, dan puluhan, warnaketiga menunjukkan jumlah nol dan warna keempat adalah toleransinya.

Contoh : Suatu resistor memiliki warna dengan urutan : merah, ungu, kuning, dan

emas; maka harganya : 270000 Ω atau 270 kΩ toleransi 5%.

Siapkan bahan untuk melakukan eksperimen memeriksa parameter rangkaian seri dan paralel resistor, yang terdiri dari papan eksperimen rangkaian arus searah dan enam resistor arang yang memiliki resistansi berbeda, yaitu 200 ohm s.d 1 kilo Ohm.

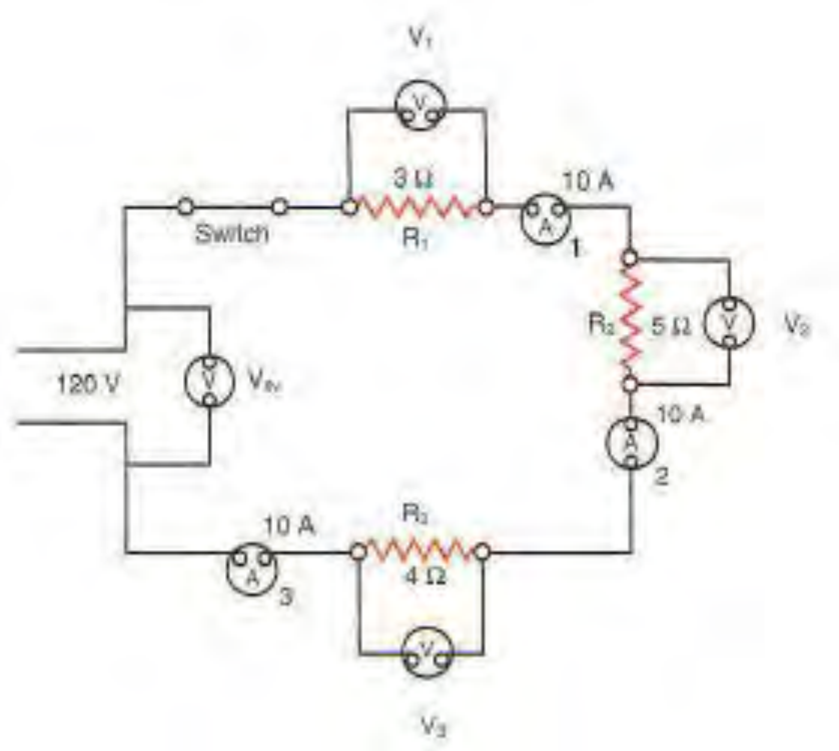
Siapkan alat pendukung eksperimen, yang terdiri dari catu daya 6 VDC atau batere kering 4 x 1,5VDC, multimeter digital, serta kabel penghubung (jumper).

Tabel 1. Kode Warna Resistor

Warna	Satuan	Puluhan	Pengali	Toleransi
Hitam	0	-	1	-
Coklat	1	1	10	1%
Merah	2	2	100	2%
Jingga	3	3	1000	-
Kuning	4	4	10000	-
Hijau	5	5	100000	-
Biru	**6**	**6**	1000000	-
Ungu	**7**	**7**	10000000	-
Abu-abu	**8**	**8**	100000000	-
Putih	**9**	**9**	1000000000	-
Perak	-	-	**0,01**	10%
Emas	-	-	**0,1**	**5%**

Rangkaian Seri resistor

Rangkaian listrik yang hanya memiliki jalur tunggal untuk aliran arus listrik disebut rangkaian seri. Dalam rangkaian seri resistor seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3.23, pada setiap resistan mengalir arus yang sama besarnya.

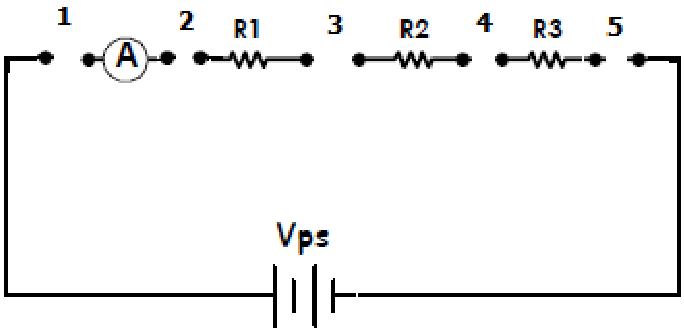


Gambar 3.23 Rangkaian Seri Tiga Resistor

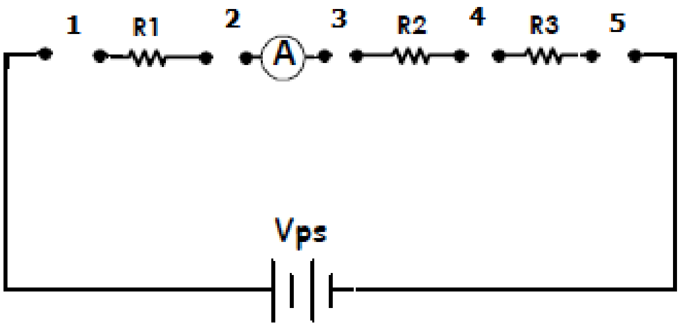
Pada rangkaian seri, seluruh nilai resistan saling ditambahkan untuk mendapatkan nilai resistan total. Dalam hal ini, nilai tegangan total dari catu daya sama dengan jumlah tegangan yang ada pada setiap resistor.

Percobaan 1: Rangkaian Seri Resistor

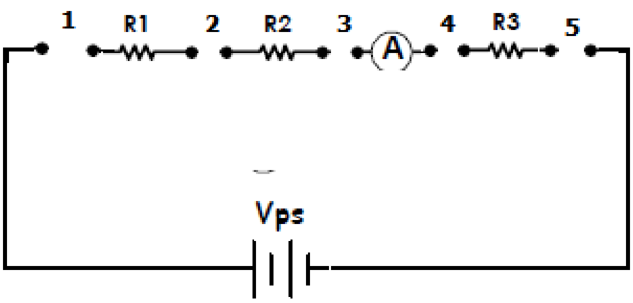
1. Buat rangkaian seperti gambar berikut:



2. Hubungkan titik 1 s.d titik 5, dan catat penunjukkan ampermeter
3. Buat rangkaian seperti gambar berikut:



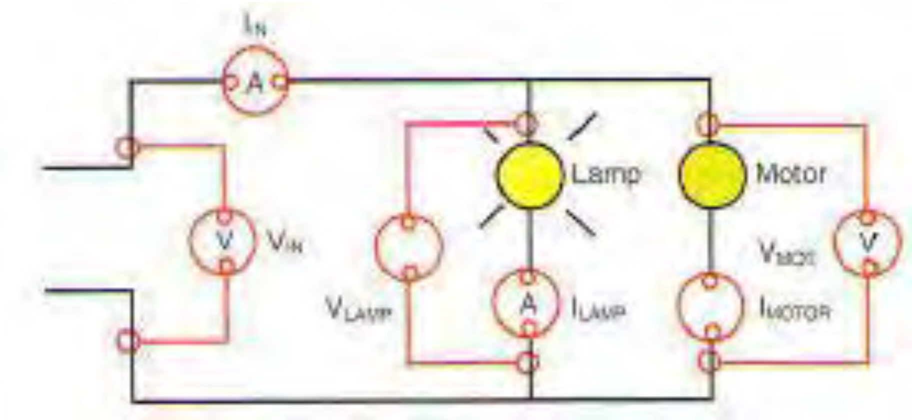
4. Hubungkan titik sambung 1 s.d 5, dan catat penunjukkan ampermeternya
5. Buat rangkaian seperti gambar berikut



6. Hubungkan titik 1 s.d 5, dan catat penunjukkan ampermeternya
7. Ganti resistor dengan nilai yang berbeda dan periksa ampermeternya

Rangkaian Paralel Resistor

Suatu rangkaian listrik yang memungkinkan arus mengalir melalui satu atau lebih konduktor atau resistor atau rangkaian listrik ada waktu bersamaan disebut rangkaian paralel. Gambar 3.24 memperlihatkan contoh rangkaian listrik yang terdiri dari lampu dan motor yang tersusun secara paralel.

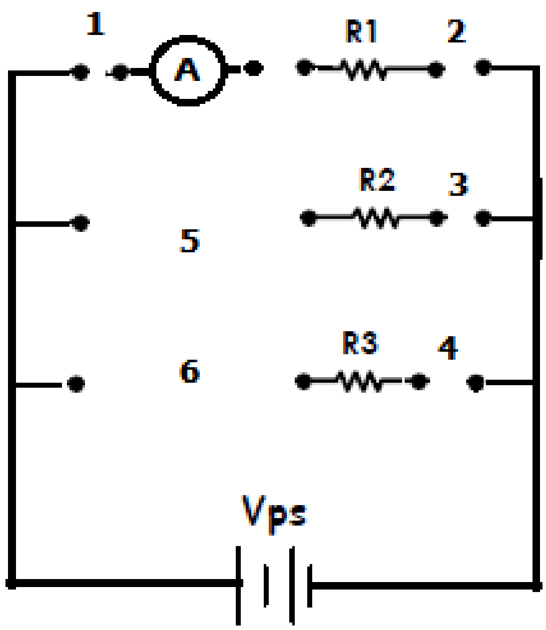


Gambar 3.24 Rangkaian Listrik Secara Paralel

Dalam rangkaian paralel, jumlah arus yang mengalir pada setiap cabang arus yakni arus yang mengalir melalui lampu dan melalui motor sama dengan arus input total yang dikeluarkan oleh catu daya. Arus yang mengalir pada setiap cabang arus tergantung pada nilai resistan yang ada pada rangkaian yang bersangkutan. Jika lampu memiliki resistan yang besarnya seperempat bagian dari nilai resistan yang dimiliki motor, maka 4/5 bagian arus akan mengalir melalui lampu dan 1/5 bagian arus akan mengalir melalui motor. Tegangan pada setiap cabang paralel sama.

Percobaan 2: Rangkaian Paralel Resistor

1. Buat rangkaian seperti gambar berikut:



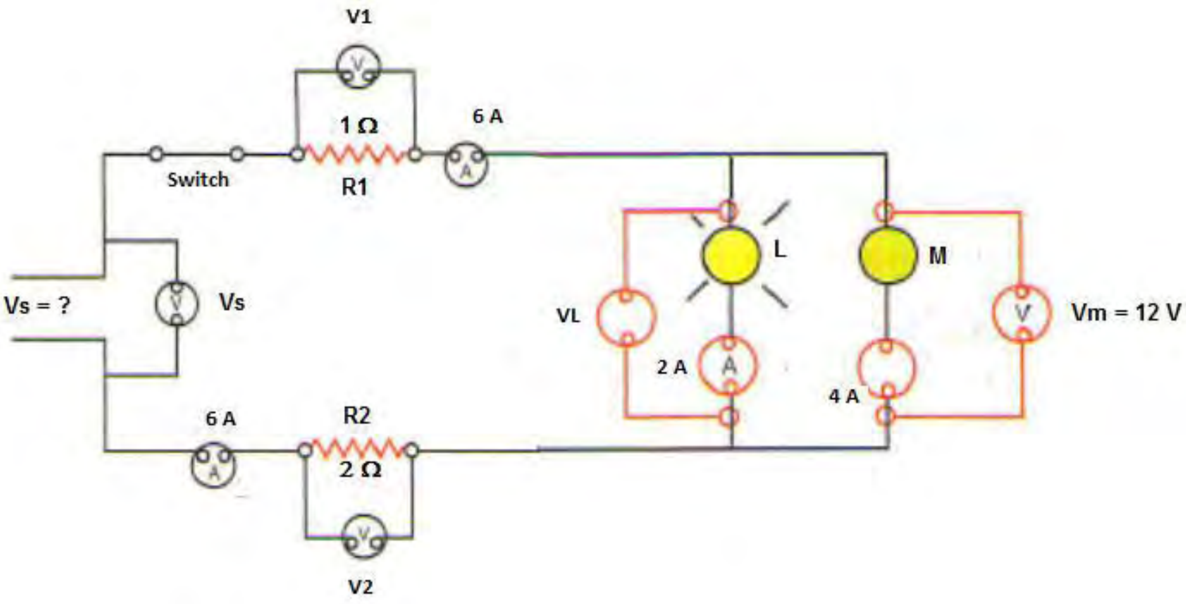
2. Hubungkan titik 1 s.d titik 6, dan
3. Catat penunjukkan ampermeter
4. Pindahkan ampermeter ke titik 5
5. Ulangi eksperimen seperti semula, dan catat penunjukkan ampermeternya
6. Pindahkan ampermeter ke titik 6
7. Ulangi eksperimen seperti semula, dan catat penunjukkan ampermeternya
8. Ganti resistor dengan nilai yang berbeda dan periksa ampermeternya.
9. Gunakan hukum Ohm untuk membahas hasil eksperimen kalian.

Rangkaian Kombinasi Seri-Paralel

Pada rangkaian kombinasi seri-paralel resistor, memiliki sifat dari rangkaian seri dan rangkaian paralel resistor.

Dalam rangkaian kombinasi seri-paralel, maka arus yang mengalir pada setiap elemen pasif tidak semuanya sama, kecuali elemen pasif yang terhubung

seri. Jumlah arus jalur lampu dan arus pada jalur motor sama dengan arus yang dkeluarkan oleh sumber. Tentukan nilai Vs?



Gambar 3.25 Rangkaian Kombinasi Seri-Paralel

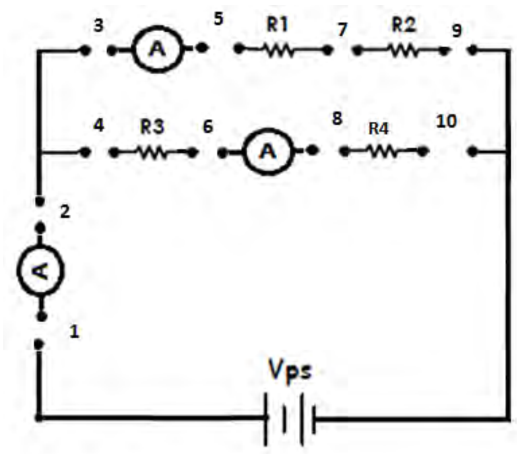
Setelah selesai dilanjutkan mengerjakan tugas proyek 4, yaitu mengamati karakteristik rangkaian superposisi sebagai berikut.

Percobaan 3: Rangkaian Kombinasi Seri-Paralel

Melalui kerja proyek ini, kalian akan memeriksa parameter rangkaian arus searah yang terdiri dari beberapa resistor yang membentuk rangkaian kombinasi seri dan paralel melalui sebuah eksperimen. Rangkaian kombinasi seri paralel banyak diterapkan pada sistem kelistrikan. Untuk itu, kalian harus merancang proyek eksperimen tersebut secara berkelompok.

Petunjuk:

1. Rangkaian kombinasi seri-paralel dibentuk melalui empat buah resistor R1, R2, R3, dan R4 yang dihubungkan secara seri dan paralel sedemikian sehingga membentuk konfigurasi khusus seperti diperlihatkan dalam gambar berikut.



2. Amati rangkaian tersebut dan identifikasi bahan dan alat yang diperlukan untuk eksperimen. Kemudian persiapkan eksperimen untuk melakukan pemeriksaan yang lebih mendalam terkait dengan rangkaian konbinasi seri-paralel. Untuk itu persiapkan bahan-bahan yang dibutuhkan.
3. Pilih nilai resistansi resistor antara 200 Ohm S.d 400 Ohm.
4. Buat rangkaian seperti gambar.
5. Aktifkan rangkaiannya dengan menutup sakelar S.
6. Catat data pengukuran arus dan tegangan serta resistannya!
7. Laporkan hasil penelitian kalian, dan presentasikan di kelas.

Menganalisis Hubungan Tegangan dan Arus

Perbandingan selisih potensial atau tegangan (U) antara dua titik sembarang pada suatu konduktor yang dialiri arus listrik sebesar (I) adalah konstan jika temperatur konduktor tidak berubah.

Secara matematika fenomena tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{U}{I} = \text{konstan}$$

Selanjutnya konstanta tersebut dikenal sebagai nilai resistansi atau tahanan (R) dari konduktor antara dua yang disebutkan di atas. Sehingga formula matematikanya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{U}{I} = \text{R}$$

Tugas Praktek 4: Pengamatan Hubungan Arus dan Tegangan

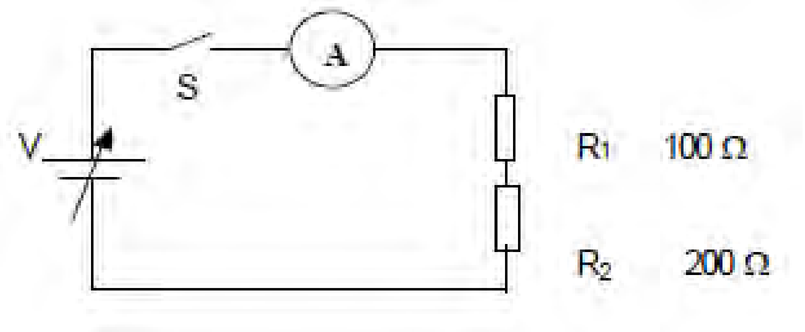
Tujuan :

Menentukan hubungan antara kuat arus dan tegangan listrik dalam rangkaian seri.

Alat :

1. amperemeter
2. voltmeter
3. DC Regulated Power Supply
4. saklar
5. kabel-kabel penghubung
6. Resistor keramik 100 ohm/ 5 watt
7. Resistor keramik 100 ohm/5 watt

Gambar Kerja:



Petunjuk :

1. Rakit rangkaian seperti gambar kerja:
2. Atur tegangan VDC mulai 0 sampai 12 VDC.
3. Catat nilai arus ditunjukkan pada amperemeter dan voltmeter.
4. Hasil pengamatan masukkan dalam tabel pengamatan
5. Berdasarkan hasil pengamatan, gambarkan grafik hubungan antara V dan I
6. Bagaimana bentuk grafik hubungan antara V dan I? Diskusikan hasil percobaan dengan teman sekelompok, dan hasilnya dipresentasikan di kelas.

Tabel Pengamatan:

No	Nilai Tegangan V	Arus	Tegangan	
			R1	R2
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Hukum Ohm

Suatu fenomena menarik dalam rangkaian resistif adalah hubungan antara tegangan dan arus pada suatu resistor.

Perbandingan selisih potensial atau tegangan (U) antara dua titik sembarang pada suatu resistor yang dialiri arus listrik sebesar (I) adalah konstan jika suhu resistor tidak berubah.

Satuan praktis resistor adalah Ω (ohm). Di mana bila akibat tegangan sebesar satu volt mengakibatkan mengalir arus listrik sebesar satu amper pada suatu bahan resistor maka nilai resistansi bahan tersebut adalah satu ohm.

Pernyatan ini sering disebut sebagai Hukum Ohm, yaitu

Di mana:

R adalah nilai resitansi dari bahan resistor dalam satuan ohm

U adalah tegangan dalam satuan volt, ada pula yang menggunakan simbol E untuk tegangan

I adalah arus listrik dalam satuan amper

Berikut ini diberikan beberapa contoh hubungan antara tegagan, resistansi, dan arus dalam suatu rangkaian listrik.

Contoh 1: Tentukan nilai arus dalam rangkaian listrik yang terdiridari sebuah resistor 10 ohm, danmendapat tegangan sebesar 220 volt?

Solusi:

Langkah 1: I = U/R

Langkah 2: I = 220/10

Langkah 3: I = 22 A

Contoh 2: Tentukan nilai potensial (E) dalam rangkaian listrik yang terdiri dari sebuah resistor 48 ohm, dan dialiri arus sebesar 5 amper!

Solusi:

Langkah 1: E = R x I

Langkah 2: E = 48 x 5

Langkah 3: E = 240 volt

Contoh 3: Tentukan nilai resistan lampu pijar 100 watt, bila tegangannya 220 volt.

Solusi:

Langkah 1: R = P / U

Langkah 2: R = 100 / 220

Langkah 3: R = 0,45 ohm

Diskusi Lanjut Rangkaian Resistor

Dari fenomena di atas diketahui bahwa setiap konduktor mempunyai resistansi yang bersifat menahan laju aliran arus pada konduktor tersebut. Oleh karena itu nilai resistansi sering disebut sebagai nilai tahanan. Untuk keperluan praktis, semua bahan konduktor yang digunakan secara khusus sebagai penahan arus disebut sebagai “Resistor” atau ada pula yang menyebutnya sebagai “Tahanan”.

Ditinjau dari bahan dan konstruksinya maka resistor dapat dibedakan sebagai berikut :

- Berbentuk gulungan kawat dari bahan nikelin atau campuran nichrom pada keramik/plastik untuk daya besar
- Berbentuk campuran bahan carbon untuk daya kecil hingga ½ watt
- Berbentuk endapan logam pada keramik
- Berbentuk endapan carbon pada keramik

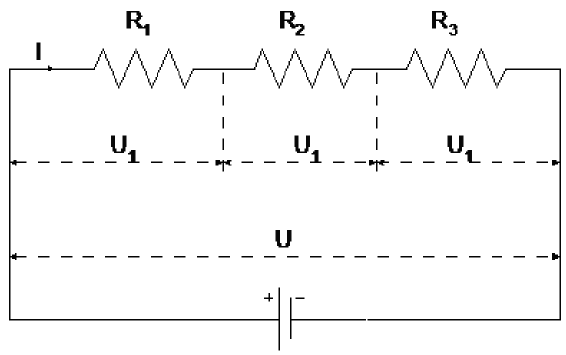
Penggunaan praktis dari resistor dalam rangkaian listrik adalah sebagai berikut:

- Sebagai unsur kalibrasi meter jarum, misalnya sebagai resistor Shunt untuk ampere meter dan resistor seri untuk volt meter
- Sebagai pengatur arus pada suatu rangkaian listrik misalnya reostat
- Sebagai pembagi tegangan misalnya potensiometer
- Sebagai elemen pemanas, misalnya resistor yang terbuat dari bahan Nikelin atau Nichrom.

Untuk keperluan praktis resistor dapat dihubungkan secara seri, parallel atau kombinasi seri-paralel. Di mana masing-masing jenis hubungan akan memiliki sifat yang berbeda sebagai berikut :

Rangkaian Seri

Jika tiga resistor dihubungkan seperti gambar di bawah ini maka disebut sebagai hubungan atau rangkaian seri resistor.



Gambar 3.26 rangkaian seri resistor

Karakteristik Rangkaian Seri

- Arus yang mengalir dalam rangkaian seri selalu sama sepanjang lintasan arus yang ada dalam suatu rangkaian, sebab hanya ada satu lintasan arus dalam rangkaian seri. Arus di dalam rangkaian seri dinyatakan dalam persamaan berikut:

  $I_t = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = \ldots\ldots$

- Resistan total R, dalam rangkaian seri merupakan penjumlahan seluruh resistan yang ada di dalam rangkaian. Resistan dalam rangkaian seri dinyatakan dalam persamaan berikut:

  $R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \ldots\ldots$

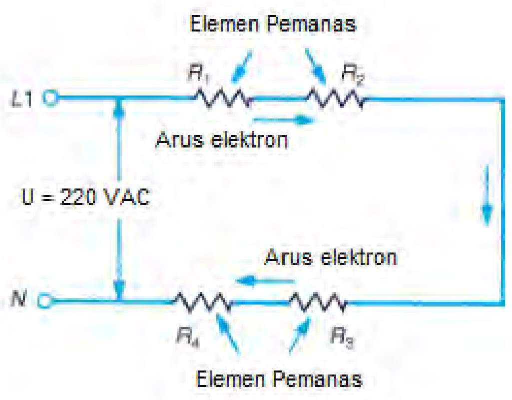
- Tegangan dalam rangkaian seri digunakan sepenuhnya oleh seluruh resistan yang ada di dalam rangkaian. Beban pada rangkaian seri harus berbagi tegangan yang disalurkan ke rangkaian. Jadi, tegangan yang disalurkan ke dalam rangkaian akan terbagi pada setiap beban listrik yang ada.

- Tegangan yang diterima oleh setiap beban akan berubah tergantung nilai resistan beban. Perubahan tegangan pada setiap beban disebut tegangan jatuh. Tegangan jatuh merupakan jumlah tegangan (tekanan listrik) yang digunakan atau hilang melalui pada setiap beban atau konduktor dalam proses pemindahan electron (arus listrik) melalui lintasan arus dalam rangkaian. Tegangan jatuh pada setiap beban proporsional dengan nilai resistannya.

- Jumlah tegangan jath dalam suatu rangkaian seri sama dengan nilai tegangan yang dikenakan pada rangkaian tersebut. Hal ini dinyatakan dalam persamaan berikut:

  $E_t = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + \ldots\ldots..$

- Hukum Ohm dapat digunakan untuk menghitung setiap bagian yang ada dalam rangkaian seri atau rangkaian total. Gambar 3.5 memperlihatkan rangkaian seri dengan empat resistan pemanas dengan nilai yang berbeda. Perhitungan resistan total, arus, dan tegangan jatuh pada setiap beban pemanas dapat dilakukan dengan cara berikut:



Gambar 3.27 Rangkaian seri dengan 4 resistan

Gambar 3.27 memperlihatkan rangkaian seri yang terdiri dari empat buah resistan dari elemen pemanas. Resistansi masing-masing elemen adalah R1= 4Ω, R2=10Ω, R3=12Ω, dan R4=14Ω. Rangkaian seri tersebut dihubungkan ke sumber tegangan 220 V.

Cara menghitung resistan total:

Langkah 1: Gunakan rumus

$$Rt = R1 + R2 + R3 + R4$$

Langkah 2: Substitusikan nilai resistansi masing-masing resistor

$$Rt = 4 + 10 + 12 + 14$$

Langkah 3: Selesaikan persamaannya

$$Rt = 40\ \Omega.$$

Cara menghitung arus listrik total:

Untuk menghitung arus listrik yang mengalir di dalam rangkaian seri digunakan Hukum Ohm.

Langkah 1: Gunakan rumus

$$I = \frac{U}{R_t}$$

Langkah 2: Substitusikan nilai tegangan (U) dan nilai resistansi total (Rt).

$$I = \frac{220}{40}$$

Langkah 3: Selesaikan persamaannya

$I = 5{,}5\ amper$

Sekarang kita gunakan Hukum Ohm untuk menghitung tegangan jatuh pada elemen pemanas pertama (R1).

Langkah 1: Gunakan rumus

U = I x R1

Langkah 2: Substitusikan nilai arus total (I) dan nilai resistansi elemen heater pertama (R1).

U = 5,5 x 4

Langkah 3: Selesaikan persamaannya

U = 22 volt

Menghitung tegangan jatuh pada R2:

Langkah 1: Gunakan rumus

U = I x R2

Langkah 2: Substitusikan nilai arus total (I) dan nilai resistansi elemen heater pertama (R1).

U = 5,5 x 10

Langkah 3: Selesaikan persamaannya

U = 55 volt

Menghitung tegangan jatuh pada R3:

Langkah 1: Gunakan rumus

U = I x R3

Langkah 2: Substitusikan nilai arus total (I) dan nilai resistansi elemen heater pertama (R1).

U = 5,5 x 12

Langkah 3: Selesaikan persamaannya

U = 66 volt

Menghitung tegangan jatuh pada R4:

Langkah 1: Gunakan rumus

U = I x R4

Langkah 2: Substitusikan nilai arus total (I) dan nilai resistansi elemen heater pertama (R1).

U = 5,5 x 14

Langkah 3: Selesaikan persamaannya

U = 77 volt

Menghitung tegangan total:

Langkah 1: Gunakan rumus

$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$

Langkah 2: Substitusikan nilai arus total (I) dan nilai resistansi elemen heater pertama (R1).

$E_1 = 22 + 55 + 66 + 77$

Langkah 3: Selesaikan persamaannya

U = 220 volt

Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

R_{total} atau $R_{ekivalen}$ atau

$R_T = R_1 + R_2 + R_3$

$U = U_1 + U_2 + U_3$

$= I.\ R_1 + I.\ R_2 + I.\ R_3$

$= I.\ R_T$

Rangkaian Pembagi Tegangan

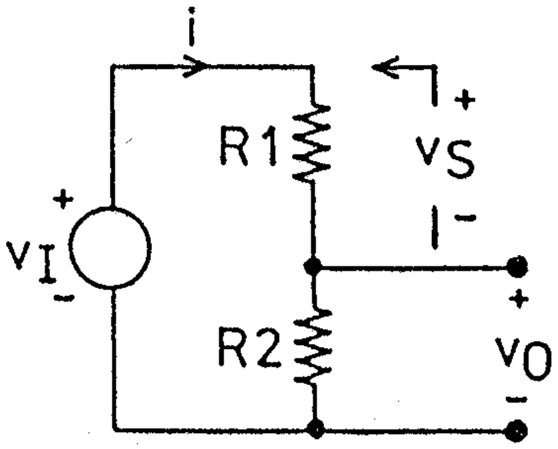
Dari analisis rangkaian seri di atas dapat kita lihat bahwa tegangan sumber U terbagi menjadi tiga di dalam ketiga resistor, yaitu U_1, U_2, dan U_3 . Di mana besar masing-masing tegang tersebut adalah :

$U_1 = I.\ R_1$

$U_2 = I.\ R_2$

$U_3 = I.\ R_3$

Dari kenyataan tersebut, maka sebuah susunan dari dua atau lebih resistor yang terhubung dalam seri lazim disebut sebagai rangkaian pembagi tegangan (voltage devider). Perhatikan rangkaian pembagi tegangan berikut:



Gambar 3.28 Rangkaian Pembagi Tegangan

Biasanya rangkaian ini digunakan untuk memperoleh tegangan yang diinginkan darisuatu sumber tegangan yang besar. Gambar rangkaian berikut memperlihatkan bentuk sederhanarangkaian pembagi tegangan, yaitu diinginkan untuk mendapatkan tegangan keluaranvo yang merupakan bagian dari tegangan sumber v1 dengan memasang dua resistor R1dan R2 .

Nampak bahwa arus i mengalir melalui R1 dan R2, sehingga:

VI = V0 + VS

VS = I x R1

V0 = I x R2

VI = IxR2 + IxR1

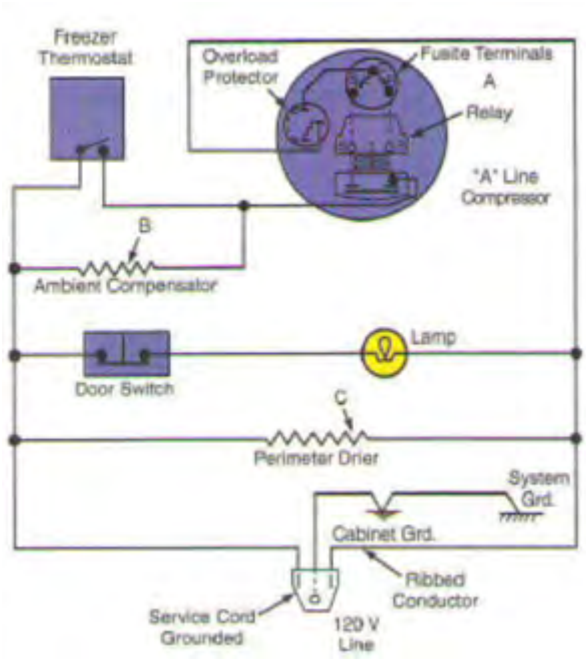
Jika V0 dan VS saling dibagikan, didapat:

V0/V1 = R2/R1

Dari sini dapat diketahui, bahwa tegangan masukan VI terbagi menjadi dua bagian, yaitu V0 dan VS, masing-masing sebanding dengan harga resistor yang dikenai tegangan tersebut. Dari persamaan tersebut diperoleh:

V0 = VI x (R2/(R1 + R2)

Rangkaian pembagi tegangan adalah sangat penting sebagai dasar untukmemahami rangkaian DC atau rangkaian elektronika yang melibatkan berbagaikomponen yang lebih rumit.



Gambar 3.29 Aplikasi Rangkaian Kombinasi pada Refrijerator

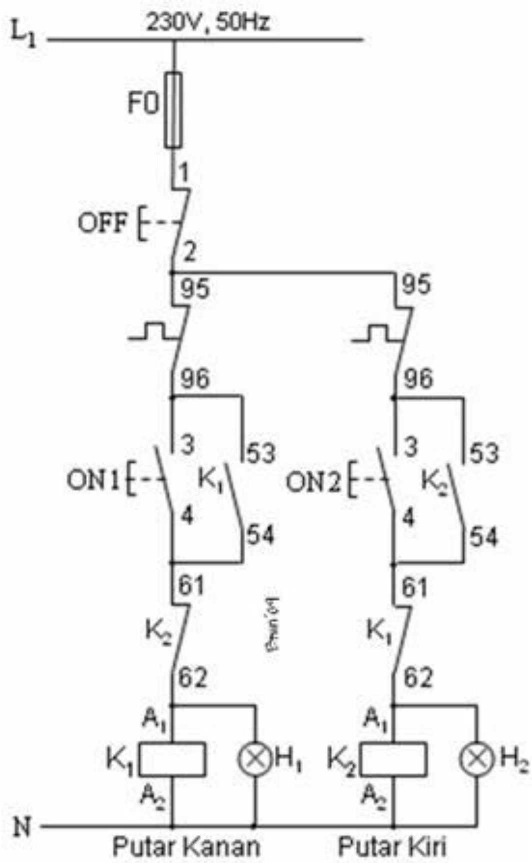
Aplikasi Rangkaian

Rangkaian seri berkaitan erat dengan rangkaian control yang diterapkan dalam sistem refrigerasi dan tata udara. Rangkaian kontrol merupakan suatu rangkaian listrik yang dapat mengontrol beban listrik dalam suatu system.

Bila seluruh piranti kontrol terhubung dalam rangkaian seri, maka terbukanya salah satu kontak sakelar atau piranti kontrol lain yang ada di dalam rangkaian tersebut akan membuka rangkaian tersebut dan menghentikan penyaluran arus listrik atau pembebanan listrik. Gambar 3.30 memperlihatkan contoh aplikasi rangkaian seri-paralel yang diterapkan pada refrijerator domestik.

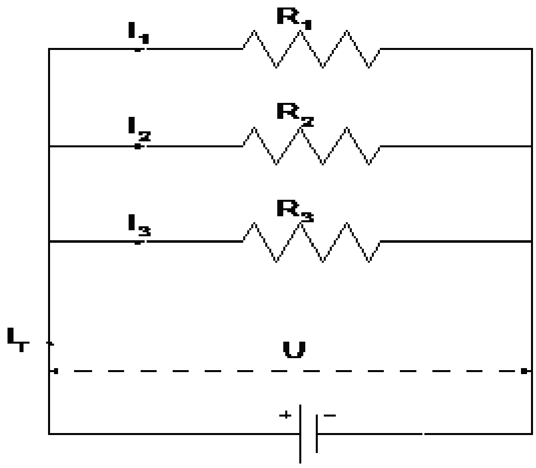
Kombinasi rangkaian seri dan paralel digunakan pada sistem sistem kelistrikan peralatan refrijerator yang berfungsi untuk menjaga suhu sesuai keinginan. Piranti control dihubungkan secara seri dengan peralatan yang dikontrolnya, yakni sebuah motor listrik.

Rangkaian seri juga memuat piranti proteksi yang diperlukan suatu sistem untuk menjaga keamanan operasi dari suatu komponen peralatan. Di mana akan menghentikan operasi kompresor jika terjadi kondisi operasi yang tidak aman. Bila ada salah satu kontak dari piranti pengaman kompresor terbuka maka rangkaian listriknya akan terbuka dan kompresor akan berhenti bekerja. Piranti pengaman harus dihubungkan secara seri untuk memastikan bahwa kondisi tidak aman akan memutuskan beban yang dilindunginya.



Gambar 3.30 Aplikasi Rangkaian Kombinasi pada Sirkit Kontrol Motor

Rangkaian Parallel Resistor



Gamabr 3.31 Rangkaian Paralel resistor

Sifat-sifat Rangkaian Paralel Resistor :

- Beda potensial pada semua resistor adalah sama sebesar (U)
- Sedang besar arus yang mengalir pada masing-masing resistor tergantung pada nilai resistansinya.
- Jumlah aljabar arus cabang (I_1, I_2 dan I_3) sama dengan besar arus total (I_T).
- Nilai resistansi total atau resistansi ekivalen (R_T) dari rangkaian paralel tiga resistor adalah akan lebih kecil nilainya dari nilai terkecil ketiga resistor tersebut. Secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

$$I = \frac{U}{R_T}$$

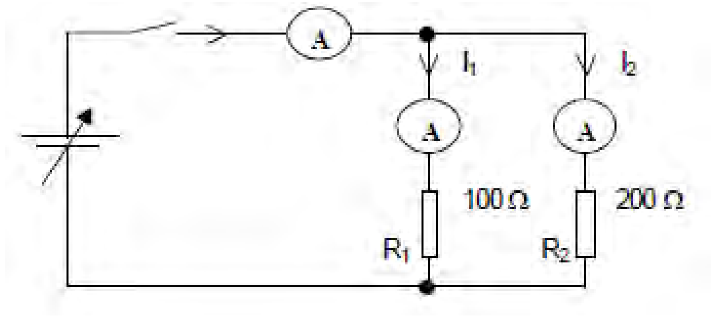
Tugas Praktek 5:

Tujuan : Menentukan hubungan antara kuat arus dan tegangan listrik dalam rangkaian paralel.

Alat :

1. amperemeter
2. voltmeter
3. DC Regulated Power Supply
4. saklar
5. kabel-kabel penghubung
6. Resistor keramik 100 ohm/ 5 watt
7. Resistor keramik 100 ohm/5 watt

Gambar Kerja:



Petunjuk :

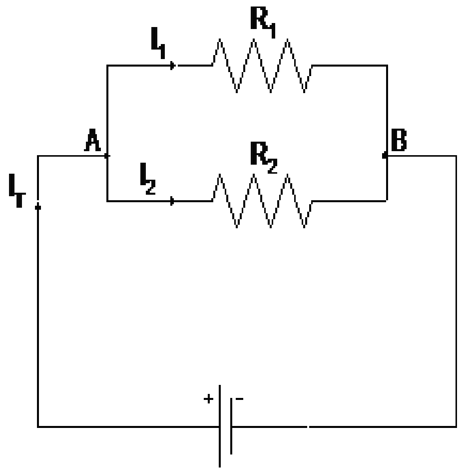
1. Rakit rangkaian seperti gambar kerja:
2. Atur tegangan VDC mulai 0 sampai 6 VDC.
3. Catat nilai arus ditunjukkan pada amperemeter dan voltmeter.
4. Hasil pengamatan masukkan dalam tabel berikut :
5.

No	Nilai Tegangan V	Arus Total	Arus Cabang	
			R1	R2
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Berdasarkan hasil pengamatan, gambarkan grafik hubungan antara V dan I Bagaimana bentuk grafik hubungan antara V dan I? Diskusikan hasil percobaan dengan teman sekelompok, dan hasilnya dipresentasikan di kelas.

Pembagian Arus dalam sirkit paralel

Gambar 3.32 memperlihatkan sirkit paralel dua resistor.



Gambar 3.32 Pembagian Arus dalam sirkit paralel

Pembagian arus dalam sirkit paralel dua resistor dalam ditentukan sebagai berikut:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad \text{dan} \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

Jadi

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Padahal : $I_2 = I_T - I_1$, jadi

$$\frac{I_1}{I_T - I_1} = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{sehingga}$$

$$I_1 \; x \, R_1 = (I_T - I_1) R_2$$

Arus setiap cabang :

Dari persamaan terakhir di atas dapat digunakan untuk menentukan besar arus cabang I_1 dan I_2, yaitu :

$$I_1 = I_T x \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I_T x \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Contoh kasus

Bila R_1 = 5 ohm, dan R_2 = 20 ohm

Tegangan batere = 12 volt

Tentukan I_1 dan I_2

Solusi :

$R_T = (R_1.R_2) / (R_1+R_2)$

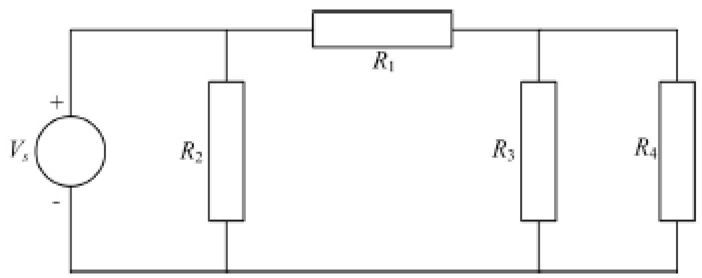
R_T = (5x20) / (5+20) = 4 ohm

I_T = U / R_T = 12 / 4 = 3 A

I_1 = 3 x (20 / 25) = 12/5 = 2,4 A

I2 = 3 x (5 / 25) = 3/5 = 0,6 A

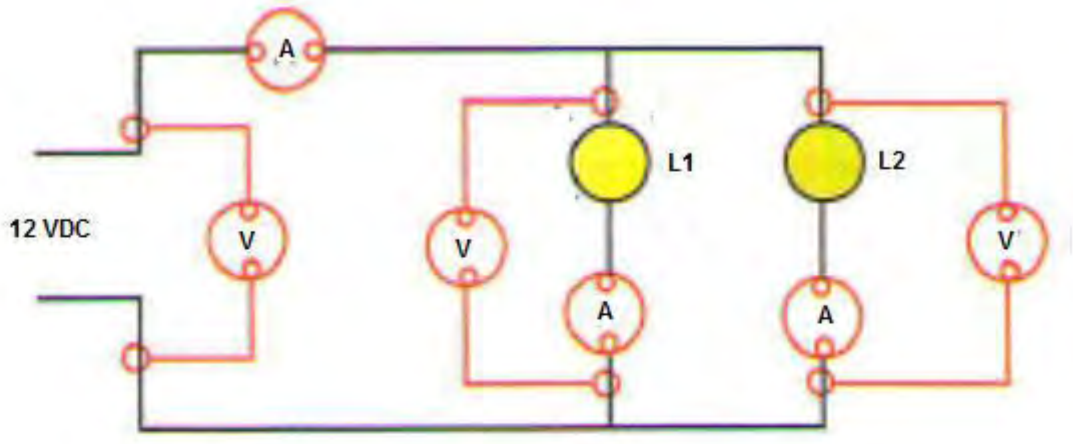
Tugas: Tentukan pembagian arus yang mengalir pada R3 dan R4! Jika diketahui tegangan pada catu daya adalah 30V. R1 = R2 = R3 = 10 ohm sedang R4 = 20 ohm



Tugas Praktek 6:

Melalui kerja proyek ini, peserta didik akan memeriksa parameter rangkaian seri resistor. Pengalaman belajar ini akan membantu peserta didik memahami Hukum Kirchoff. Untuk itu, peserta didik harus merancang proyek eksperimen tersebut sebaik-baiknya secara berkelompok.

Diagram Rangkaian Percobaan



Petunjuk :

1. Rakit rangkaian seperti gambar :

2. Catat nilai arus dan tegangan ditunjukkan pada amperemeter dan voltmeter.

3. Catat hasil pengamatan masukkan dalam tabel pengamatan.

4. Buat kesimpulan dan Laporkan hasil percobaan

Hukum Kirchoff

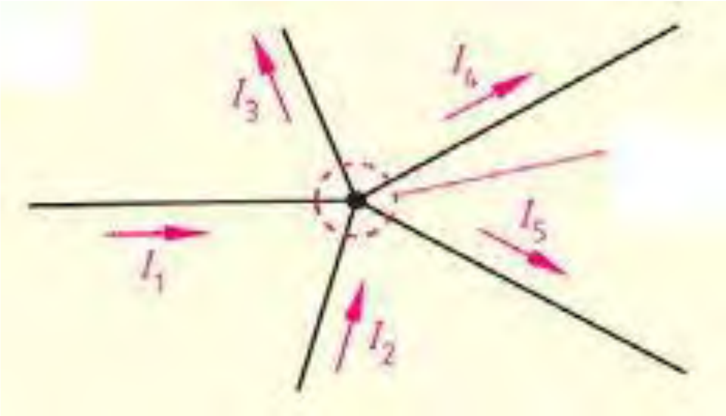
Hukum Kirchoff menyangkut sifat arus dalam suatu titik sambungan dan sifat tegangan dalam suatu loop atau rangkaian listrik. Sesuai dengan obyek yang diamati maka ada dua Hukum yang diperkenalkan oleh Kirchoff, yaitu: hukum kirchoff tentang arus (Kirchoff's Current Law, disingkat KCL) dan hukum kirchoff tentang tegangan (Kirchoff's Voltage Law, disingkat KVL)

KCL atau Hukum Dot.

Hukum Kirchoff tentang arus lazim disebut juga dengan istilah Hukum Dot atau Hukum Kirchoff I. Dalam sembarang rangkaian listrik, jumlah aljabar dari arus-arus yang bertemu pada suatu titik sambungan adalah sama dengan nol.

Jumlah aljabar keseluruhan arus yang menuju titik percabangana adalah nol. Titik percabangan adalah titik pertemuan tiga atau lebih arus ke rangkaian atau sumber

tegangan dan juga dari unsur rangkaian atau sumber tegangan.Dalam hukum ini, dipakai suatu perjanjian bahwa arus yang menuju titik percabangan ditulis dengan tanda positif dan arus yang tidak menuju (meninggalkan titik percabangan) ditulis dengan tanda negatif.



Gambar 3.33 Hukum Dot

Dari gambar 3.36 didapatkan persamaan arus sebagai berikut:

$$+I1 + I2 +(-I3) +(-I4) + (-I5) = 0$$

$$I1 + I2 - I3 - I4 - I5 = 0$$

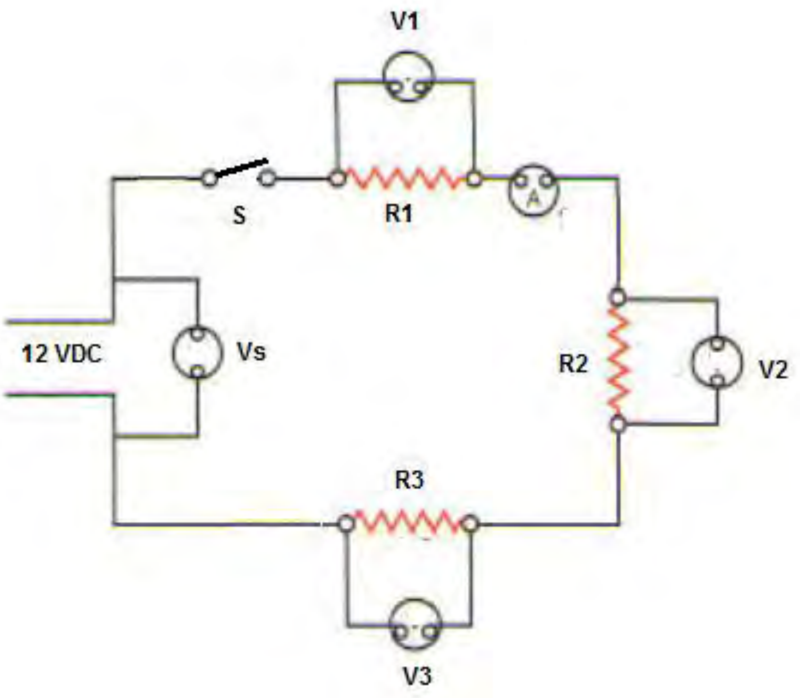
$$I1 + I2 = I3 + I4 + I5$$

Jadi jumlah arus yang masuk ke titik sambungan = jumlah arus keluar dari titik tersebut

Tugas Praktek 4:

Melalui kerja proyek ini, peserta didik akan memeriksa parameter rangkaian seri resistor. Pengalaman belajar ini akan membantu peserta didik memahami Hukum Kirchoff. Untuk itu, peserta didik harus merancang proyek eksperimen tersebut sebaik-baiknya secara berkelompok.

Diagram Rangkaian Percobaan



Petunjuk :

1. Rakit rangkaian seperti gambar :
2. Catat nilai arus dan tegangan ditunjukkan pada amperemeter dan voltmeter.
3. Catat hasil pengamatan masukkan dalam tabel pengamatan.
4. Buat kesimpulan dan Laporkan hasil percobaan

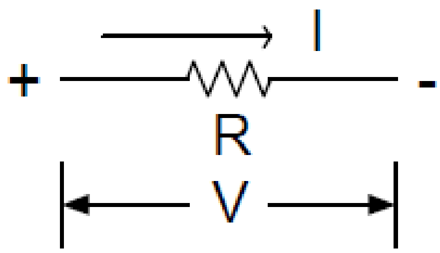
KVL

Jumlah aljabar dari hasil kali antara arus dan resistansi dari setiap konduktor/resistor dalam sembarang rangkaian listrik tertutup ditambah jumlah aljabar ggl atau sumber tegangan yang ada di dalam rangkaian tersebut sama dengan nol.

Jadi : $\Sigma\, I.R + \Sigma\, U = 0$

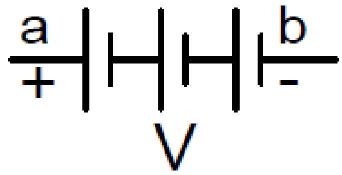
Perhatian:

Tanda dari Turun tegangan (voltage drop) pada resistor tergantung pada arah arus yang melaluinya, tetapi tidak tergantung pada polaritas sumber tegangan (U) yang ada di dalam rangkaian tersebut.



Gambar 3.34 Turun Tegangan pada Resistor

Apabila tegangan dibaca dari + ke -, dengan arah baca yang sama dengan arah arus I yang mengalir, maka harga V=RI adalah penurunan tegangan. Untuk memahaminya beri tanda positif (+) pada V dan beri tanda positif (+) pada RI. Sedangkan apabila pembacaan tegangan berlawanan dengan arah arus berilah tanda (-) V atau (-)RI. Sedangkan untuk sumer tegangan atau sumber arus berlaku ketentuan sebagai berikut:

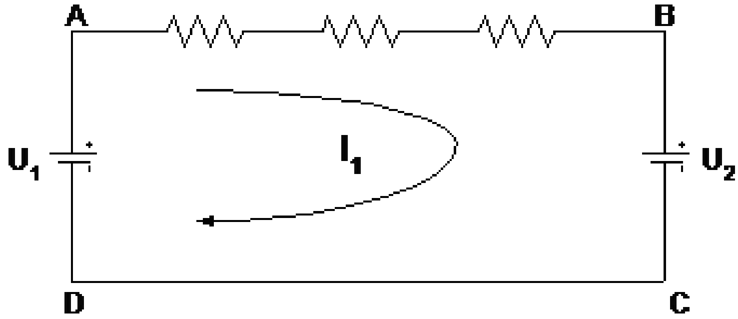


Gambar 3.35 Sumber Tegangan

Bila arah baca dari a ke b, maka adalah suatu penurun tegangan berilah tanda positif pada V. Atau dengan kata lain, apabila menuruti arah baca + dari sumber tegangan, tulis V positif. Sebalik jika pembacaan dari kutub – sumber tegangan maka V ditulis dengan tanda negatif.

Contoh :

Perhatikan suatu rangkaian tertutup (Loop) ABCDA berikut ini



Gambar 3.36 Loop ABCDA

Dengan menerapkan hukum tegangan dari Kirchoff kita dapatkan persamaan loop sebagai berikut :

Perhatikan tanda polaritas pada setiap unsur yang ada di dalam loop, yaitu:

- negatif bila sesuai dengan arah loop
- positif bila melawan arah loop

$- U_1 + I_1.R_1 + I_1.R_2 + I_1.R_3 + U_2 = 0$

atau

$I_1.R_1 + I_1.R_2 + I_1.R_3 = U_1 - U_2$

Pedoman memperkirakan arah arus:

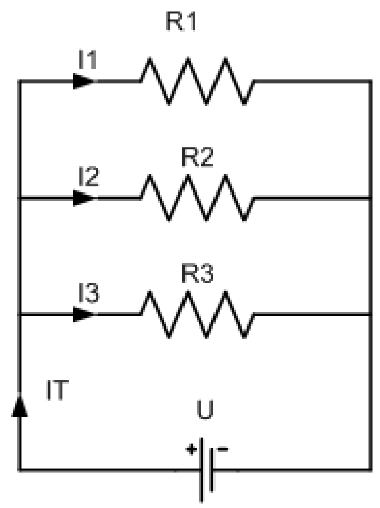
Dalam menerapkan Hukum Kirchoff tegangan pada suatu rangkaian listrik tertutup, maka kita dapat memperkirakan arah arus pada setiap cabang sesuai keinginan kita. Maksudnya kita dapat memperkirakan arah arus sesuai arah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam.

Jika persamaan tegangan yang dihasilkan sudah diselesaikan, dan hasil perhitungannya memperoleh tanda negatif artinya arah arus yang kita perkirakan salah. Tetapi bila hasil perhitunganya memperoleh hasil positif, bearti arah arus yang kita perkirakan sudah betul sesuai denag arah yang sebenarnya.

Untuk keperluan analisa rangkaian yang lebih rumit dan komplek, maka penerapan Hukum Kirchoff lebih efektif dan membantu dibandingkan hanya menggunakan Hukum Ohm.

Bila rangkaian seri lazim diterapkan pada sistem rangkaian kontrol, maka rangkaian paralel lazim diterapkan pada sistem rangkaian daya untuk mencatu energi listrik ke suatu peralatan listrik termasuk peralatan refrigerasi dan tata udara. Agar dapat beroperasi dengan layak, maka setiap beban listrik harus terhubung ke catu daya listrik secara terpisah atau dalam rangkaian paralel, agar setiap beban tersebut dapat menerima tegangan penuh.

Rangkaian parallel digunakan dalam rangkaian daya yang mencatu beban listrik, seperti pemanas, sistem refrigerasi dan tata udara. Beban listrik pada suatu sistem harus dihubungkan ke catu daya listrik secara parallel,agar mendapatkan tegangan penuh. Gambar 3.37 memperlihatkan contoh rangkaian paralel yang terdiri dari tiga resistor.



Gambar 3.37 Rangkaian Paralel 3 Resistor

Karakteristik Rangkaian Paralel

Perhitungan yang harus dilakukan oleh seorang teknisi/mekanik berkaitan dengan rangkaiann paralel sangat kecil kemungkinannya. Tetapi betapapun juga

sifat-sifat rangkaian parallel harus dipahami dengan benar oleh para teknisi/mekanik lapangan.

Arus yang ditarik oleh setiap cabang rangkaian parallel ditentukan oleh resistan yang ada pada cabang rangkaian. Arus total yang ditarik oleh rangkaian parallel merupakan jumlah seluruh arus cabang. Arus pada setiap cabang parallel dapat dihitung menggunakan hokum Ohm, bila resistannya diketahui.

Tegangan pada setiap cabang parallel selalu sama, tegangan di dalam rangkaian parallel dinyatakan dalam persamaan berikut:

$U_t = U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = \ldots\ldots$

Nilai resistan total atau resistan ekivalen (R_T) dari rangkaian paralel akan lebih kecil nilai resistan terkecil yang ada dalam rangkaian paralel. Secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots.$$

Karena tegangan jatuh pada setiap beban yang ada dalam cabang parallel sama, maka arus yang diterima oleh setiap beban yang ada dalam setiap cabang parallel akan berubah tergantung nilai resistan beban. Arus pada setia cabang berbanding terbalik dengan nilai resistannya. Secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut:

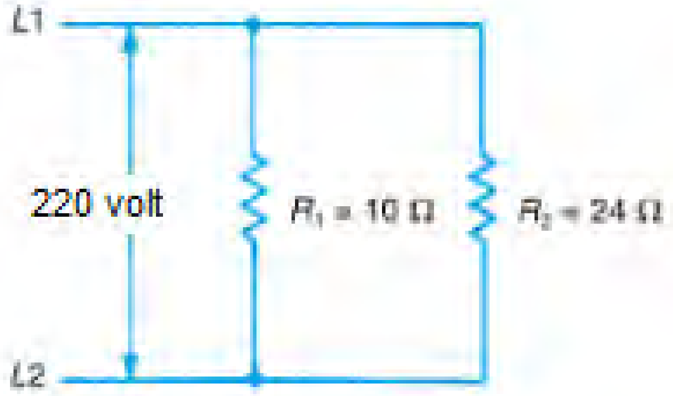
$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

Jumlah arus dalam suatu rangkaian paralel sama dengan nilai arus pada setiap cabang paralel. Hal ini dinyatakan dalam persamaan berikut:

$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \ldots\ldots..$

Hukum Ohm dapat digunakan untuk menghitung parameter setiap elemen yang ada dalam rangkaian seri atau rangkaian total. Gambar 3.41 memperlihatkan rangkaian paralel yang terdiri atas dua elemen pemanas yang memiliki resistansi dengan nilai yang berbeda. Perhitungan resistan total, arus, dan tegangan jatuh pada

setiap beban pemanas dapat dilakukan dengan menerapkan Hukum Ohm sebagai berikut:



Gambar 3.38 Rangkaian Parallel 2 Resistor

Cara menghitung resistan total:

Langkah 1: Gunakan rumus

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Langkah 2: Substitusikan nilai resistansi masing-masing resistor

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{10} + \frac{1}{24}$$

Langkah 3: Samakan penyebutnya dan jumlahkan

$$\frac{1}{R_T} = \frac{24}{240} + \frac{10}{240} = \frac{34}{240}$$

Langkah 4: Selesaikan persamaannya dengan membalik persamaannya

Rt = 240/34 = 7.06 ohm

Cara menghitung arus listrik total:

Untuk menghitung arus listrik yang mengalir di dalam rangkaian paralel digunakan Hukum Ohm.

Langkah 1: Gunakan rumus

$$I_t = \frac{U}{R_t}$$

Langkah 2: Substitusikan nilai tegangan (U) dan nilai resistansi total (Rt).

$$I_t = \frac{220}{7{,}06}$$

Langkah 3: Selesaikan persamaannya

$$I_t = 31{,}16 \ amper$$

Sekarang kita gunakan Hukum Ohm untuk menghitung arus setiap cabang (R1).

Langkah 1: Gunakan rumus

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

Langkah 2: Substitusikan nilai arus total (I) dan nilai resistansi elemen heater pertama (R1).

$$I_1 = \frac{220}{10}$$

Langkah 3: Selesaikan persamaannya

$$I_1 = 22 \text{ amper}$$

Menghitung arus cabang kedua pada R2:

Langkah 1: Gunakan rumus

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

Langkah 2: Substitusikan nilai tegangan (U) dan nilai resistansi elemen heater pertama (R2).

$$I_2 = \frac{220}{24}$$

Langkah 3: Selesaikan persamaannya

I_2 = 9,16 amper

Menghitung arus total total:

Langkah 1: Gunakan rumus

$I_t = I_1 + I_2$

Langkah 2: Substitusikan nilai arus I_1 dan nilai arus I_2

I_t = 22 + 9,16

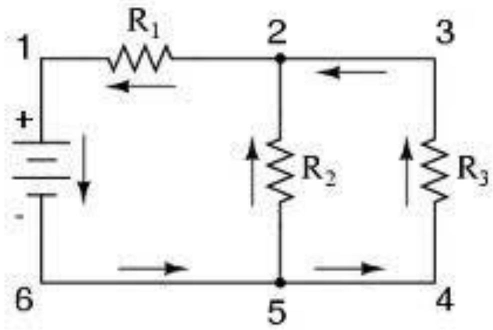
Langkah 3: Selesaikan persamaannya

I_t = 31,16 amper

Rangkaian Seri-paralel

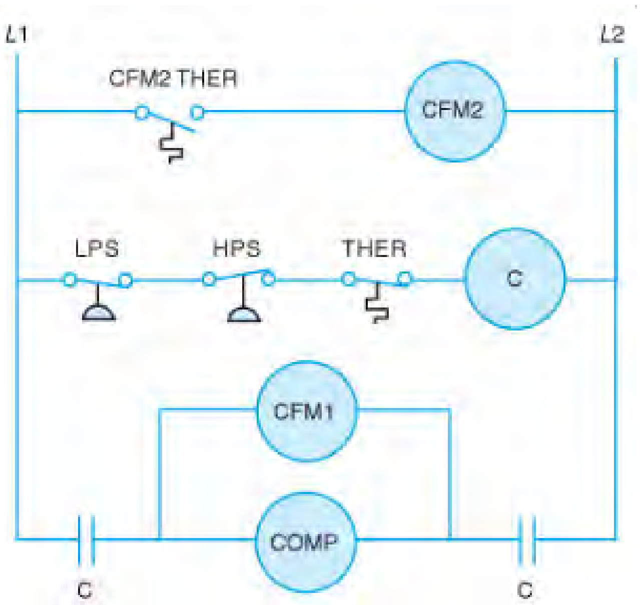
Rangkaian listrik dapat terdiri dari beberapa loop dantitik-titik percabangan dengan satu atau lebih sumber teganganyang digunakan. Rangkaian tersebut dapat merupakan gabungan rangkaian seri dan rangkaian paralel. Analisis rangkaian seri-paralel sudah pasti akan lebih rumit dibandingkan dengan rangkaian seri atau rangkaian paralel. Apabila nilai dari suatu sumber tegangan sudahdiketahui, maka besaran yang harus dianalisa adalah nilai aruspada masing-masing penghantar yang masuk atau meninggalkantitik percabangan atau nilai tegangan pada masing-masingtahanan dari rangkaian tersebut.jumlah persamaan yangdigunakan untuk menganalisa suatu besaran belum dapatdiketahui, yang jelah harus sebanyak jumlah besaran yanghendak diketahui harganya.

Rangkaian seri-parallel merupakan rangkaian kombinasi yang terdiri dari rangkaian seri dan rangkaian parallel. Rangkaian seri-paralel sering dijumpai dslam rangaian control kelistrikan peralatan refrigerasi dan tata udara. Tipe ragkaian ini merupakan kombinasi rangkaian seri dan rangkaian parallel, seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.39. Rangkaian seri-paralel seringkali mudah dipahami ketika ia hanya memuat beberapa komponen saja. Rangkaian seri-paralel menjadi sulit dipahami ketika melibatkan banyak komponen di dalamnya.



Gambar 3.39 Rangkaian Seri-Paralel

Rangkaian seri-paralel sering digunakan untuk mengkombinasikan rangkaian kontrol dan rangkaian yang mencatu daya listrik ke beban. Gambar 3.40 memperlihatkan contoh aplikasi rangkaian seri-paralel pada rangkaian kontrol. Konfigurasi rangkaian pada rangkaian seri-parallel didesain sehingga beban dapat menerima tegangan jala-jala dengan sepenuhnya untuk mengoprasikan sakelar dan kontak yang terhubung seri dengan beban, sehingga dapat mengontrol operas sistem. Perhitungn nilai-nilai dalam rangkaian seri-parallel harus dilakukansecara hati-hati, karena setiap bagian dari rangkaian harus diidentifikasi sebagai seri atau parallel. Begitu rangkaiannya telah dapat diidentifikasi, maka perhitungan dapat dimulai.



Gambar 3.40 Aplikasi Rangkaian Seri-Paralel

3. MemeriksaRangkaian Peralihan Resistor-Kapasitor (RC)

Marilah kita ungkapkan kembali pemhamanann kita tentang kapasitor. Kapasitor adalah elemen pasif rangkaian yang dapat menyimpan energi. Kapasitor terbuat dari dua plat penghantar paralel yang mempunyai luas A (m^2) dan berjarak satu sama lain sebesar d (m). Dengan hubungan seperti itu maka bila kapasitor ini mendapat arus listrik maka akan membangkitkan tegangan pada kapasitronya, di mana besar nilai tegangan kapasitor adalah:

$$v = \frac{1}{C}\int i(t)dt$$

$$i = C\,x\,\frac{dv}{dt}$$

Di mana C adalah konstanta yang nilainya tergantung pada luas plat dan jarak pelat serta bahan isolasi yang terdapat diantara kedua plat tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C = \frac{\varepsilon\,x\,A}{d}$$

Di mana

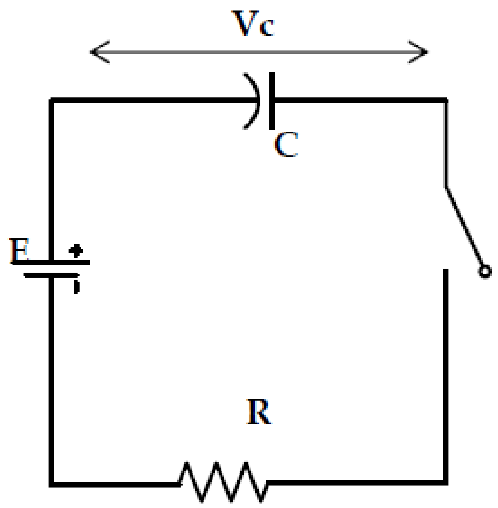
C disebut Kapasitansi yang diukur dalam satuan Farad

ε adalah permitivitas bahan dielektrikum.

Untuk udara nilai permitifitasnya adalah

$\varepsilon = \varepsilon_0 = 8.854$ pF/m.

Amati gambar berikut ini. Sebuah kapasitor terhubung ke sumber tegangan arus searah melalui resistor R dan dikontrol oleh sakelar S seperti gambar berikut.Sampai di sini kalian pasti ingin mengetahui apa yang terjadi jika arus listrik searah dihubungkan dengan sebuah kapasitor. Jika kalian buat rangkaian RC seperti gambar berikut, perhatikan apa yang terjadi dengan arus dalam rangkaian dan tegangan pada kapasitor?



Gambar 3.41 Rangkaian Seri RC

Kerja Praktek 1: Mengamati Rangkaian RC

Tujuan Percobaan

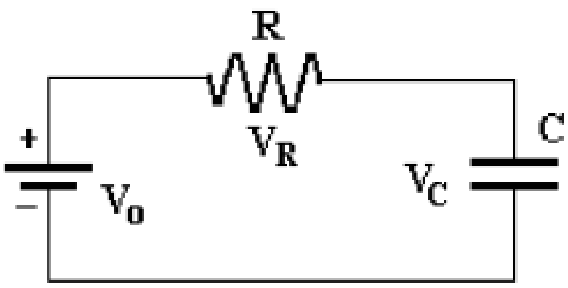
1. Mempelajari proses pengisian dan pelepasan muatan pada kapasitor.
2. Mempelajari efek transien pada rangkaian RC dengan menggunakan multimeter.
3. Menghitung konstanta waktu rangkaian RC.

Peralatan

1. Resistor dan kapasitor.
2. Sumber arus searah.
3. Voltmeter.
4. Stopwatch.

Konsep

Apabila sumber arus searah dihubungkan dengan sebuah kapasitor, muatan-muatandari sumber disalurkan pada kapasitor. Akibatnya lempeng-lempengdalam kapasitor, yang semula netral, membentuk polaritas yang berbeda.Melalui resistor R yang dirangkai seri dengan kapasitor, pengisian muatanmengalami hambatan. Oleh karenanya, selain bergantung pada tegangan sumber,pengisian muatan juga bergantung pada waktu.Gambar Rangkaian percobaan memperlihatkan rangkaian seri yang dihubungkan dengan sumberDC. Hubungan potensial saat kapasitor dimuati sebagai berikut:



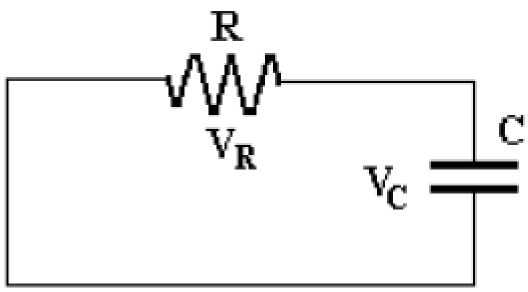
$$Vo = VR + VC \quad (1)$$

$$VR = Ri = dq/dt \quad (2)$$

$$VC = q/Cq \quad (3)$$

dengan Vo , VR , dan VC menyatakan potensial sumber, potensial pada hambatan dan potensial pada kapasitor, q adalah muatan yang mengisi kapasitor, i adalah arus yang melewati rangkaian dan C adalah besar kapasitas dari kapasitor. Dengan menggunakan persamaan (2) dan (3), persamaan (1) dapat diselesaikan untuk menentukan potensial kapasitor saat pengisian muatan :

$VC = Vo\ (1 - e^{-t/RC})$ (4)



Apabila sumber dilepas dan rangkaian RC dihubung-singkat (seperti pada gambar di atas), maka kapasitor akan melepaskan muatannya.

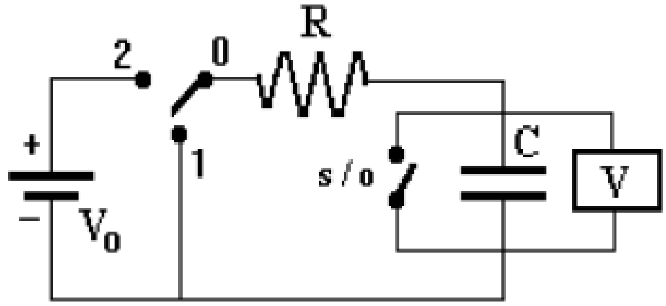
Hubungan potensial padakondisi ini adalah :

$Vo = VR + VC$ (5)

Persamaan (5) ini dapat diselesaikan menjadi :

$VC = VCO\ e\text{-}^{t/RC}$ (6)

VC menyatakan potensial kapasitor saat pelepasan muatan dan VCO merupakan potensial kapasitor mula-mula.



Gambar Rangkaian Eksperimen

Menghitung Konstanta Waktu Rangkaian RC dengan Voltmeter.

1. Susun rangkaian seperti gambar rangkaian eksperimen, saklar muka-mula pada kondisi 1. Aturtegangan sumber 10 Volt. Perhatikan polaritas kapasitor.
2. Pindahkan saklar keposisi 2 dan catat VC setiap 40 detik sebanyak 15 data.
3. Pindahkan saklar ke kondisi 1, dan catat VC setiap 40 detik sebanyak 15 data.
4. Ulangi untuk harga R dan C yang lain.

Pelaporan

1. Buat grafik VC vs t dari data pengamatan saat pengisian dan pelepasanmuatan pada kapasitor !.
2. Tentukan konstanta waktu dari grafik di atas untuk pengisian danpelepasan muatan !.
3. Hitung konstanta waktu pada saat pengisian dan pelepasan muatan secaraleast square. Hitung juga kesalahan literaturnya !.
4. Berikan analisa dan kesimpulan dari percobaan ini !.

Analisa rangkaian:

Menurut Hukum Kirchoff dalam rangkaian seri berlaku:

$$-V_C = I.R - E$$

$$-\frac{Q(t)}{C} = I.R - E$$

Jika diturunkan terhadap waktu, maka diperoleh:

$$-\frac{1}{C}\frac{dQ}{dt} = .R\frac{dI}{dt} - 0$$

$$-\frac{Q(t)}{C} = I.R - E$$

$$-\frac{1}{C}I = R\frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{I} = -\frac{1}{RC}dt$$

$$Ln\, I(t) = -\frac{t}{RC} + B$$

$$I(t) = e^{\frac{t}{RC}+B} = e^{B}e^{\frac{t}{RC}}$$

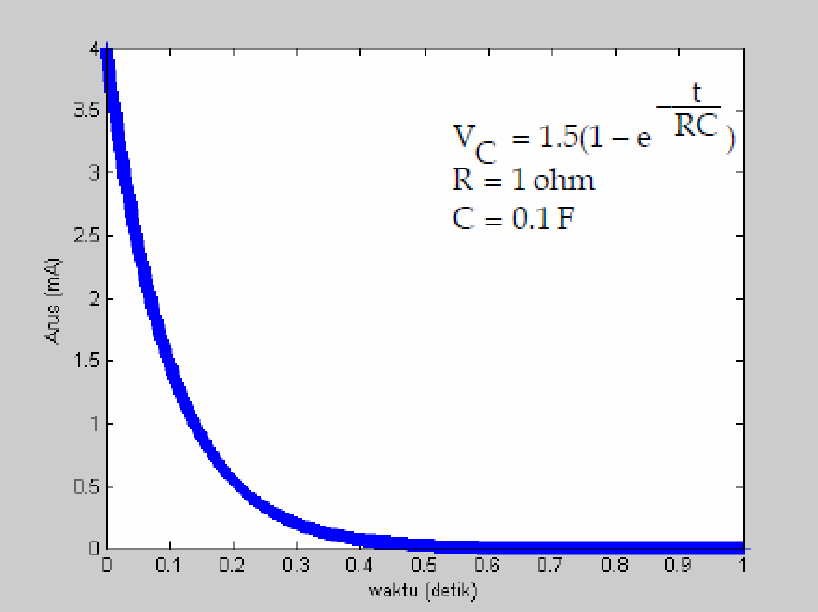
seperti yang akan kita lihat nanti, konstanta e^B ini adalah arus awal atau arus pada t=0, sehingga :

$$I(t) = I_O e^{-\frac{t}{RC}}$$

dengan Io merupakan arus maksimum yang nilainya menurut hukum Ohm adalah E/R.

Persamaan terakhir ini menggambarkan bagaiamana perilaku arus listrik jikadalam rangkaian terdapat kapasitor. Semakin lama arus akan semakin kecil proses ini disebut arus transien (sementara).

Proses penurunan kuat arus ini terlihat jika kita sketsa dalam kurva berikutini :

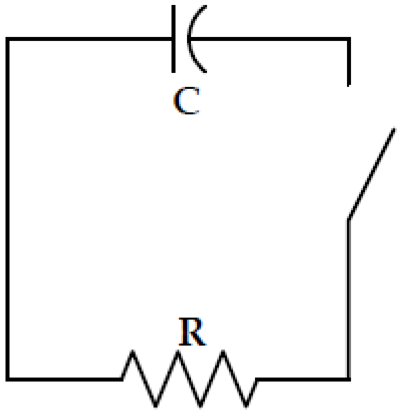


Gambar 3.42 Kurva Arus Pengosongan Kapasitor

Arus transien terjadi karena kapasitor membutuhkan waktu untuk memenuhidirinya dengan muatan dan sebaliknya juga terjadi dalam prosesmengosongkan dirinya dari muatan. Terdapat dua proses yang terjadi padakapasitor dalam rangkaian RC, yaitu pengisian muatan dan pengosongan muatan.

Pengosongan Muatan Listrik dalam Kapasitor

Misalkan kapasitor pada awalnya dengan menggunakan baterai, telah terisi penuh oleh muatan kemudian baterai dilepas, sehingga diperoleh rangkaian di bawah :



Gambar 3.43 Rangkaian Pengosongan Muatan Kapasitor

Pada saat awal kapasitor kita anggap terisi muatan penuh maka ketika saklarkita hubungkan akan terdapat arus awal sebesar pada rangkaian sebesar :

$$I_0 = \frac{V_0}{R}$$

di mana Vo adalah tegangan (beda potensial) awal pada kapasitor yang bisadituliskan sebagai Q/C, sehingga :

$$I_0 = \frac{Q_0}{RC}$$

Menurut Hukum Kirchoff berlaku:

$$-V_{Kapasitor} = I.R$$

Karena V = Q/C, maka diperoleh:

$$-\frac{Q}{C} = R\frac{dQ}{dt}$$

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{1}{RC}dt$$

Jika kedua ruas diintegrasikan, maka diperoleh:

$$\int \frac{dQ}{Q} = -\frac{1}{RC} \int dt$$

$$LnQ = -\frac{t}{RC} + A$$

Karena sifat Lnx=A → x=e^{A}, maka diperoleh:

$$Q = e^{\frac{t}{RC}+A} = e^{A} e^{\frac{t}{RC}}$$

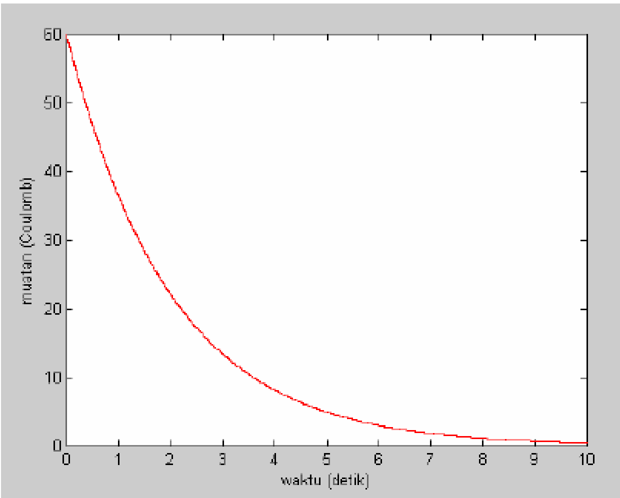
Atau jika disederhanakan akan diperoleh:

$$Q = Ce^{-\frac{t}{RC}}$$

Konstanta C adalah muatan pada t = 0, yakni pada saat sakelar mulai tertutup, sehingga diperoleh:

$$Q = Q_O e^{-\frac{t}{RC}}$$

jika kita plot dalam grafik untuk hambatan R = 1 kilo ohm dan kapasitansi C= 1 mF dan muatan awal sebesar 60 Coulomb, maka akan kita peroleh hasilsebagai berikut :



Gambar 3.44 Kurva Pengosongan Muatan Kapasitor

Gambar kurva pengosongan muatan kapasitor tersebut di atas menunjukkan pelepasan muatan yang ada di dalam kapasitoryang berkurang setiap saat secara

eksponensial (maksudnya turun menurutkurva fungsi eksponen) hingga akhirnya pada t tak hingga (sangat lama)tidak ada muatan lagi dalam kapasitor.

Dari persamaan muatan

$$Q = Q_O e^{-\frac{t}{RC}}$$

kita turunkan terhadap waktu, maka akan kita perolehkembali perilaku arus transien sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} = Q_0 \frac{d}{dt} e^{-\frac{t}{RC}}$$

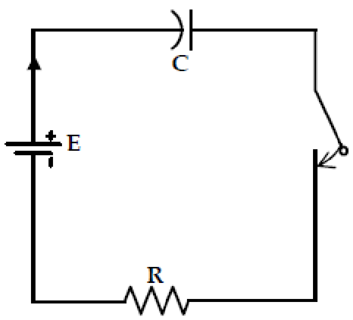
$$-\frac{dQ}{dt} = \frac{Q}{RC} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$I = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Analisis Rangkaian Pengisian Muatan Listrik Dalam Kapasitor

Kita juga bisa mengisi kapasitor dengan cara menghubungkan kapasitor padasebuah sumber tegangan (baterai) dalam waktu tertentu sebagaimana gambar berikut :



Kapasitor pada saat awal (t = 0) kita anggap kosong dari muatan listrik,maka menuruthukum Kirchoff berlaku :

$$E - IR - V_C = 0$$

dengan Vc merupakan beda potensial pada kapasitor, karena V = Q/C, maka :

$$E - IR - \frac{Q}{C} = 0$$

Karena I = $\frac{dQ}{dt}$, maka

$$E - \frac{dQ}{dt}R - \frac{Q}{C} = 0$$

$$E = \frac{dQ}{dt}R + \frac{Q}{C}$$

Jika kita kalikan dengan C pada masing-masing ruas, diperoleh:

$$EC = \frac{dQ}{dt}RC + Q$$

Sehingga persamaan dapat dirubah menjadi:

$$\frac{dQ}{EC - Q} = \frac{dt}{RC}$$

Jika kedua ruas diintegrasikan, diperoleh:

$$\int \frac{dQ}{EC - Q} = \int \frac{dt}{RC}$$

$- Ln(EC - Q) = \frac{t}{RC} + B$ → Lnx=A → x=e^A

$$EC - Q = e^{-B}e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$Q = CE - Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

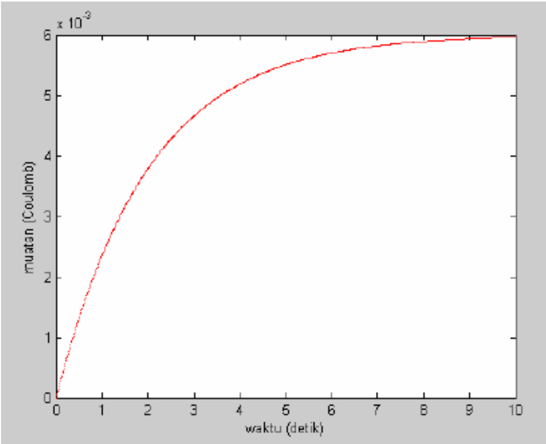
Pada saat t =0, muatan Q =0, sehingga:

$$0 = CE - A$$

$$Q = CE(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Nilai CE merupakan muatan maksimum dari kapasitor yang disebut Qmax, sehingga:

$$Q = Q_{\max}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



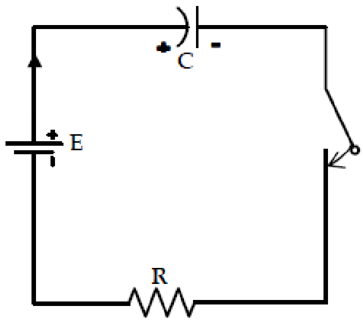
Gambar kurva pengisian muatan kapasitor menunjukkan bahwa pada t = 0 muatan pada kapasitor adalahkosong dan kemudian terus menerus bertambah hingga menuju suatu nilaimaksimum tertentu. Pada saat tersebut kapasitor akan memiliki polarisasimuatan yang berlawanan dengan baterai E. Kurva pengisian muatan pada kapasitor tidak linier. Jika kita ingin mengetahui perilaku arus listrik pada saat pengisian kapasitor dapat dengan muda dilakukan dengan menguraikan formula matematiknya sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{Q_{\max}}{RC} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$I = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Fenomena tersebut diperlihatkan dalam gambar berikut. Setelah terisi muatan, kapasitormemiliki arah polarisasi (positif-negatif) yang berlawanan dengan polaritas sumber tegangan yang mempengaruhinya.



Perilaku Tegangan Pada Kapasitor

Pada saat pengisian kapasitor perilaku tegangan pada kapasitor dapatdiperoleh sebagai berikut :

$$V_C = -\frac{Q(t)}{C} = -\frac{1}{C}\int I(t)dt$$

$$V_C = -\frac{1}{C}\int \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} dt$$

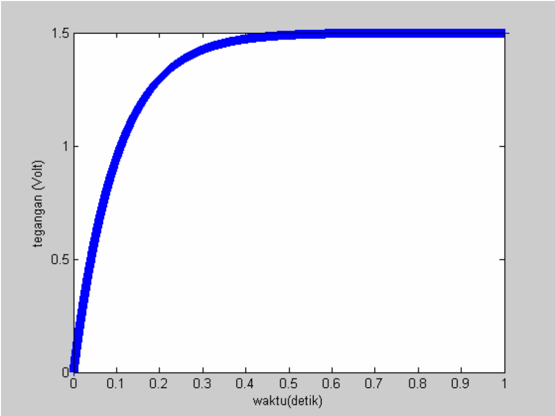
$$V_C = -\frac{E}{RC}\int e^{-\frac{t}{RC}} dt$$

$$V_C = -E.e^{-\frac{t}{RC}} + B$$

Pada t = 0, maka VC = 0, sehingga B = E untuk itu persamaan menjadi:

$$V_C = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Dari penurunan di atas bisa kita lihat bahwa pada t = 0 tegangan padakapasitor juga nol, akan tetapi makin lama makin membesar mendekati hargamaksimum E (sumber tegangan). Grafik kurva tergangan pengisian kapasitor diperlihatkan dalam gambar berikut.



Gambar 3.45 Kurva Tegangan pengisian Kapasitor

Dari fenomena sehari-hari, misalnya ketika kalian mematikan sebuah alat listrikmisalnya catu daya untuk note book yang mengandung kapasitor di dalamnya, terlihat pilot lamp yang ada pada catu daya tersebut tidaklangsung mati, akan tetapi seringkali perlu menunggu beberapa saat baru kemudian dia padam.Fenomena initerjadi karena seperti yang kita bahas di atas, bahwa arus yang mengalir di dalam sebuah kapasitormemerlukan waktu untuk mengosongkan muatan sampai benar-benarkosong (arus sama dengan nol). Oleh karena itu, kalian harus lebih berhati-hati ketika memegang kedua terminal kapasitor, karena ada kemungkinan masih bertegangan walaupun telah dilepas dari sumber tegangan.

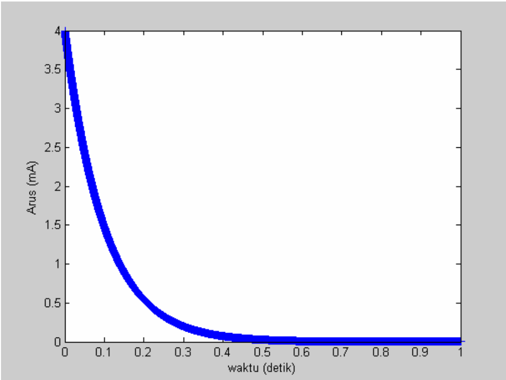
KONSTANTA WAKTU (τ)

Keunikan perilaku arus pengisian dan pengosongan kapasitor yang berbentuk eksponensial dengan formula $I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$, dan tegangan pengisian atau pengosongan yang berbentuk eksponensial juga dengan formula $V_C = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain, misalnya sebagai piranti penunda waktu. Konstanta waktu τ merupakan ”indikator” waktu yang diperlukan untuk sebuah kapasitor untuk mengosongkan muatan yang ada di dalamnya sehingga berkurang sebesar 1/e-nya, sehingga :τ = RC.

Dengan demikian persamaan arus pengisian kapasitor dapat dituliskan sebagai:

$$I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Pada saat waktu = τ, secara grafis nilai arus absolutnya ditunjukkan seperti kurva berikut ini:



Contoh :

Sebuah baterai 6 volt digunakan untuk mengisi kapasitor dalam suatu rangkaian seri RC,dengan C = 4μF dan R = 1 k Ω, hitunglah :

a. Konstanta waktu!

b. Arus mula-mula!

c. Besarnya muatan akhir pada kapasitor!

Jawab :

a. Konstanta waktu :

τ = RC (1000)(4x10^{-6})= 4x10^{-3}detik

b. Arus mula-mula :

$$I_O = \frac{E}{R} = \frac{6}{1000} = 6mA$$

c. Besarnya muatan akhir yang terisi dalam kapasitor:

Q = CE = (4x10^{-6})(6) = 2,4x10^{-5} C

Permasalahan:

1. Resistan ekivalen dari tiga buah resistor yang terhubung seri sebesar 760 ohm. Dua resistor telah diketahui nilai resistannya masing-masing sebesar 40 ohm dan 420 ohm. Tentukan nilai resistan dari rsistor ketiga!
2. Dua kapasitor masing-masing memiliki nilai kapasitan sebesar 2 mikrofarad, dan 10 mikrofarad terhubung dalam seri. Tentukan nilai kapasitan ekivalennya! Ulangi sekalai lagi jika nilai C2 = 10 pikofarad.
3. Dua buah indiktor terhubung dalam seri. Masing-masing induktor memiliki induktansi L1 = 4mH, dan L2 = 8 mH. Tentukan nilai induktan ekivalennya! Kemudian bandingkan nilai induktan ekivalennya jika kedua induktor terhubung dalam paralel!
4. Suatu rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari dua resistor didisain memiliki resitan total sebesar 60 ohm. Jika tegangan output diinginkan sebesar 20 persen dari tegangan inputnya, tentukan nilai resistan dari kedua resistor tersebut!
5. Arus listrik sebesar 40 miliamper akan dibagi menjadi dua cabang arus masing-masing sebesar 30 miliamper dan 10 miliamper melalui suatu jaringan resistor di mana resistan totalnya sama dengan atau lebih besar dari 10 ohm.

KEGIATAN BELAJAR 4

Menganalisis Rangkaian Listrik Arus Searah

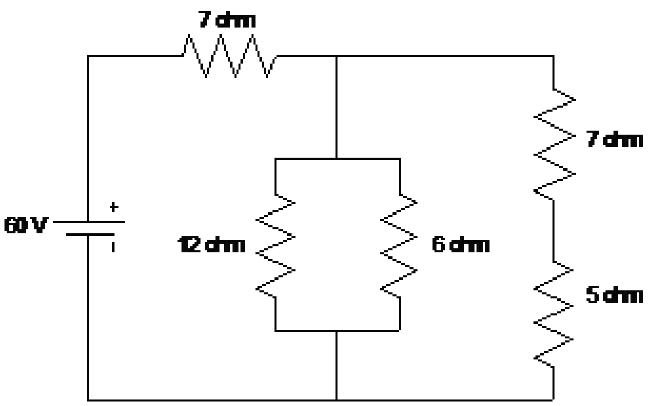
Reduksi Rangkaian Resistif

Metoda arus mata jala (mesh) dan tegangan simpul yang dikemukakan oleh Kirchoff merupakan cara yang paling utama dari analisis rangkaian arus searah dengan elemen pasif resistor (rangkaian resistif). Tetapi, dengan menghitung resistansi ekivalen dari cabang-cabang seri dan parallel yang digabungkan dengan aturan-aturan pembagi tegangan pada rangkaian seri dan pembagian arus pad rangkaian parallel dapat memberikan cara lain guna menganalisis suatu rangkaian.

Namun cara ini tentu saja akan sangat membosankan karena biasanya memerlukan penggambaran melalui beberapa rangkaian tambahan. Apa lagi lagi bila rangkaiannya mempunyai banyak cabang elemen. Meskipun demikian, proses reduksi rangkaian ini akan memberikan suatu gambaran yang jelas dari fungsi keseluruhan rangkaian mengenai tegangan, arus dan daya yang didisipasikan pada setiap elemen rangkaian.

Contoh :

Hitung resistan ekivalen dari rangkaian resistif berikut ini dan daya total yang disalurkan oleh sumber 60 V dan daya yang diserap oleh masing-masing resistor yang ada di dalam jaringan.



Gambar 4.1 Sirkit Kombinasi

Penyelesaian :

Tahanan total pada sisi a-b adalah seri antara tahanan 7 dan 5.

Didapat Rab = 12 ohm

Tahanan total pada sisi c-d adalah parallel antara tahanan 12, 6 dan 12

Didapat Rcd =12//6//12 = 3 ohm

Tahanan ekivalen rangkaian di atas adalah seri antara tahanan 7 dan 3.

Didapat Rek = 7 + 3 = 10 ohm.

Sehingga daya total yang diserap atau daya total yang disalurkan adalah :

$$p_t = \frac{U^2}{\mathrm{Re}k} = \frac{60^2}{10} = 360watt$$

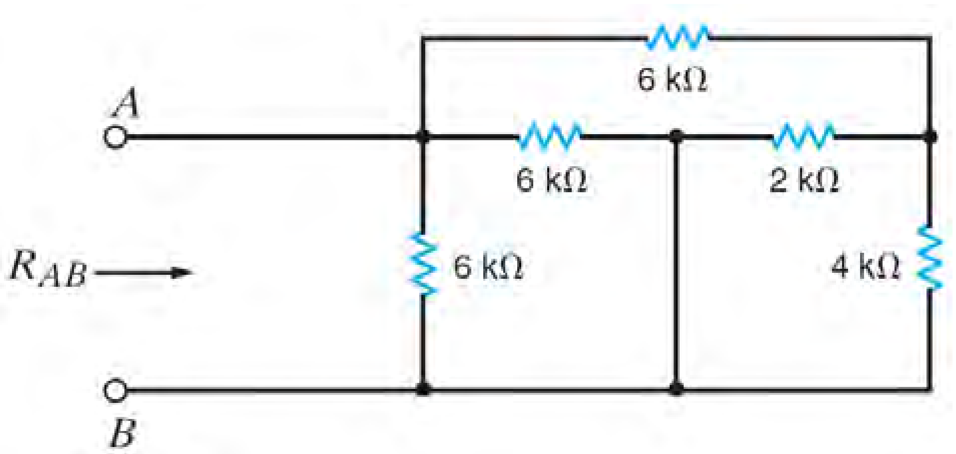
Daya yang diserap pada tahanan total Rcd = 3 ohm adalah :

$$P_{\mathrm{Re}k} = \frac{3}{10} x360watt = 108watt$$

Daya yang diserap pada tahanan dalam = 7 ohm adalah :

$$P_{\mathrm{Re}k} = \frac{7}{10} x360watt = 252watt$$

Tugas: Tentukan resistan ekivalen (R_{AB}) dari rangkaian listrik yang terdiri dari empat resistor beriku ini! Kemudian tentukan pula daya total yang diserap dan daya yang diserap setiap resistor jika tegangan sumber yang digunakan sebesar 12 volt!



Untuk mempermudah menentukan parameter rangkaian dengan cara mereduksi rangkaian terasa sangat melelahkan apalagi jika rangkaiannya memiliki jumlah

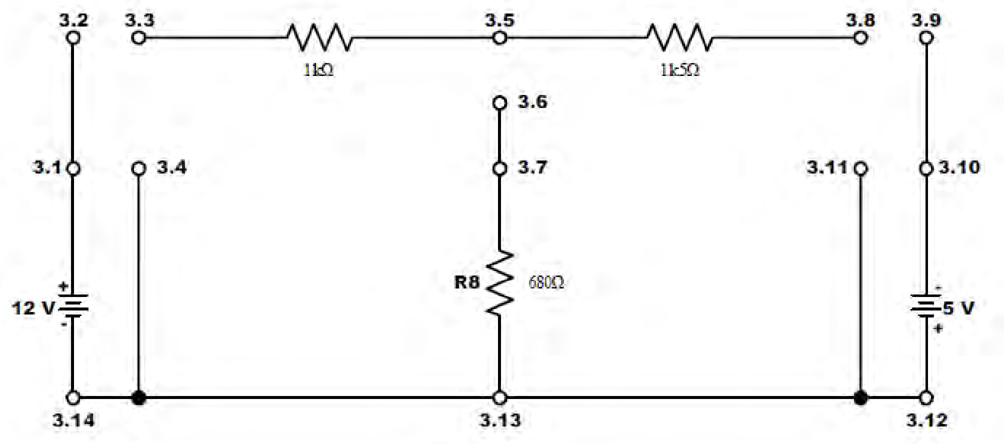
cabang paralel banyak. Teorema superposisi, Teori Thevenin dan Norton merupakan salah satu teknik yang dianjurkanuntuk menentukan parameter rangkaian dengan lebih mudah.

Percobaan 1 : Rangkaian Superposisi

Melalui kerja proyek ini, kalian akan memeriksa parameter rangkaian superposisi yang terdiri dari beberapa resistor dan beberapa catu daya. Selama ini kalian melakukan eksperimen dengan catu daya tunggal. Dalam rangkaian superposisi catu daya yang digunakan dalam rangkaian dapat lebih dari satu. Yang harus kalian amati adalah bagaimana pengaruh polaritas catu daya yang terdapat dalam rangkaian tersebut terhadap parameter rangkaian. Untuk itu, kalian harus merancang proyek eksperimen tersebut sebaik-baiknya secara berkelompok.

Petunjuk:

1. Rangkaian superposisi dibentuk melalui tiga buah resistor R1, R2, dan R3, membentuk konfigurasi T, dan dua buah catu daya masing-masing 12 VDC dan 5 VDC, seperti diperlihatkan dalam gambar berikut.



2. Amati rangkaian superposisi tersebut dan identifikasi bahan dan alat yang diperlukan untuk eksperimen. Kemudian persiapkan eksperimen untuk lebih mendalamisifat rangkaian superposisi. Untuk itu persiapkan bahan dan alat yang dibutuhkan.
3. Buat konfigurasi rangkaian seperti gambar.

4. Pasang ampermeter pada titik 3.2 - 3.3, 3.5 - 3.6, dan 3.8 - 3.9. Catat penunjukkan ampermeternya
5. Pasang ampermeter pada titik 3.2 - 3.3, 3.5 - 3.6, dan 3.8 - 3.11. Catat penunjukkan ampermeternya
6. Pasang ampermeter pada titik 3.4 - 3.3, 3.5 - 3.6, dan 3.8 - 3.9. Catat penunjukkan ampermeternya
7. Analisa data yang kalian kumpulkan, gunakan hukum Ohm dan Hukum Kirchoff untuk membahas hasil penelitian kalian.
8. Laporkan hasil penelitian kalian, dan presentasikan di kelas

1. Teori Superposisi

Sebuah jaringan linear dapat terdiri dari elemen pasif resistif dengan dua atau lebih sumber tegangan searah. Untuk menganalisa rangkaian atau jaringan seperti ini maka dapat digunakan teori Superposisi. Pada prinsipnya teori ini memanfaatkan hubungan linear antara arus dan tegangan.

Menurut teori ini, jika ada sejumlah sumber tegangan bekerja bersama-sama dalam sembarang jaringan linear. Kemudian setiap sumber tegangan bekerja bebas terhadap pengaruh dari sumber tegangan lainnya. (Dianggap sumber tegangan lainnya tidak ada , maka arus dalam setiap penghamtar adalah terdiri dari beberapa komponen arus, di mana setiap komponen itu masing-masing ditimbulkan oleh masing-masing sumber tegangan yang terdapat di dalam rangkaian tersebut. Begitu pula tegangan pada setiap penghantar adalah jumlah aljabar dari tegangan-tegangan yang dihasilkan oleh setiap sumber tegangan secra sendiri-sendiri.

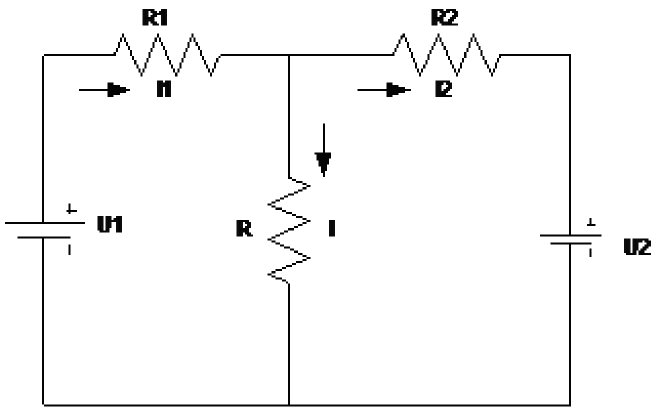
Definisi :

Arus yang mengalir dalam setiap cabang rangkaian yang ditimbulkan oleh beberapa buah sumber tegangan yang terdapat di dalam rangkaian tersebut, adalah jumlah aljabar dari arus-arus dalam cabang tersebut, jika sumber tegangannya bekerja sendiri-sendiri. Setiap sumber tegangan pada rangkaian dianggap bekerja sendiri-sendiri, sedang sumber tegangan yang lain sementara dapat dihubung singkat, lalu

dihitung arus yang mengalir. Arus total yang mengalir dalam cabang adalah jumlah aljabar semua komponen arus tersebut.

Tugas: Lakukan pengamatan terkait dengan penerapan sistem superposisi dalam kehidupan nyata sehari-hari. Kumpulkan informasi dari berbagai sumber, kemudian diskusikan dengan teman sekelompok dan presentasikan hasilnya di kelas.

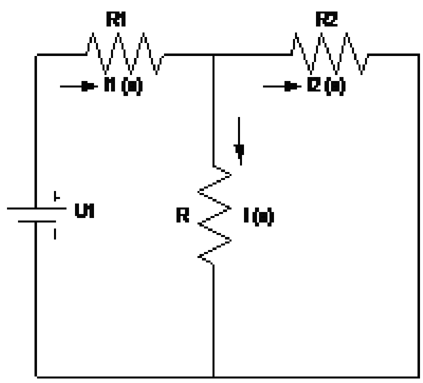
Contoh 1: Diberikan sebua rangkaian kombinasi seperti gambar berikut. Rangkaian terdiri dari tiga resistor, dan dua buah sumber tegangan. Tentukan arus (I) yang mengalir pada resistor R.



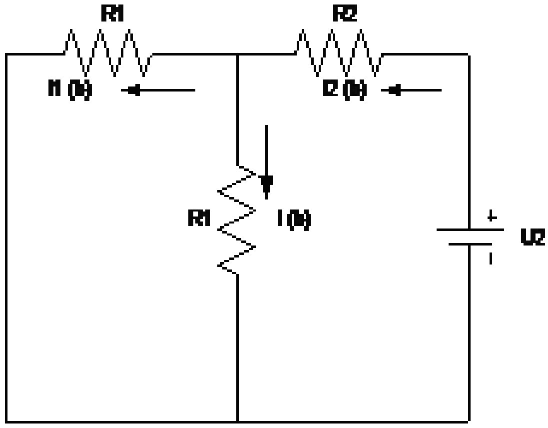
(a)

Solusi :

Langkah 1: Suber tegangan U2 dihubung singkat, sebagai berikut:



Langkah 2: Sumber tegangan U1 dihubung singkat sebagai berikut:



Pada langkah satu tegangan U2 dihubung singkat,kemudian arus pada setiap cabang rangkaian dihitung.

Pada langkah satu tegangan U1 dihubung singkat,kemudian arus pada setiap cabang rangkaian dihitung. Maka di dapat :

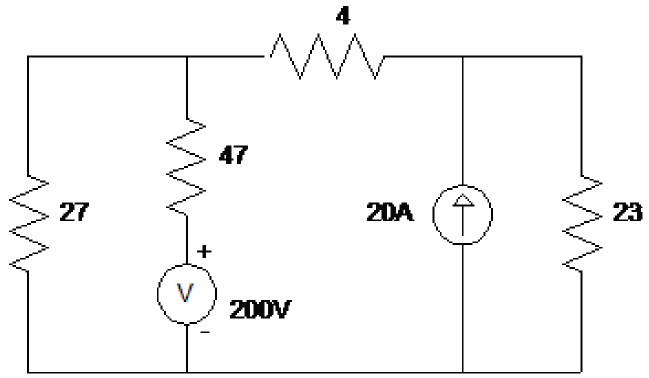
$I1 = I1\ (a) - I1\ (b)$

$I2 = I2\ (a) - I2\ (b)$

` $I = I\ (a) - I\ (b)$

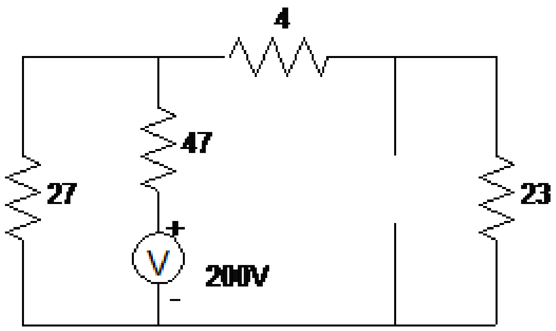
Contoh 2 :

Hitung arus yang melewati tahanan 23Ω dalam rangkaian berikut ini dengan menerapkan prinsip superposisi :



Penyelesaian :

Dengan asumsi sumber tegangan 200 V bekerja sendiri, maka sumber arus 20 A diganti dengan sebuah rangkaian terbuka. Sehingga rangkaiannya menjadi sebagai berikut :

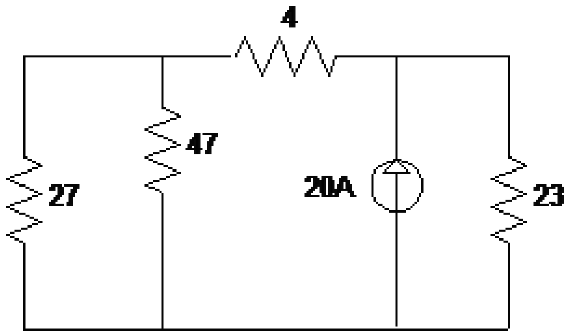


$$R_{ek} = 47 + \frac{(27)(4+23)}{54} = 60{,}5\,\text{Ohm}$$

$$I_T = \frac{200}{60{,}5} = 3{,}31A$$

$$I23 = \frac{27}{54} x3{,}31 = 1{,}65A$$

Bila sumber arus 20 A bekerja sendiri, maka sumber 200V diganti dengan sebuah hubung singkat



$$R_{ek} = 4 + \frac{(27)(47)}{74} = 21{,}15 ohm$$

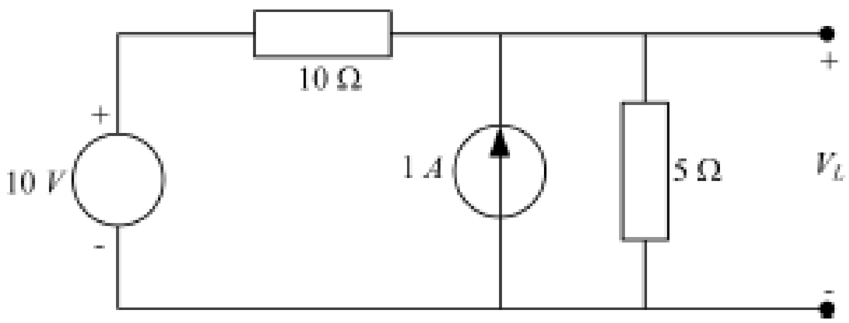
$$I_{23} = \frac{21{,}15}{21{,}15 + 23}(20) = 9{,}58A$$

Jadi arus total dalam tahanan 23Ω adalah :

I_{23} = 1,65 + 9,58 = 11,23 A

Tugas: Tentukan nilai tegangan output VL menggunakan teori superposisi untuk rangkaian listrik berikut yang terdiri dari:

- Sebuah sumber tegangan 10 V
- Sebuah sumber arus konstan 1 A
- Dua resistor masing-masing 10 ohm dan 5 ohm

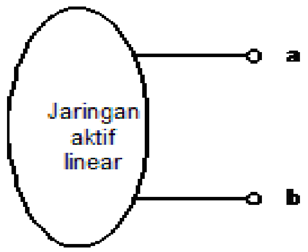


2. Teori Thevenin dan Norton

Sebuah rangkaian atau jaringan linear, aktif dan resistif yang mengandung satu atau lebih sumber tegangan atau sumber arus dapat diganti dengan satu sumber tegangan dan satu resistan seri (Theorema Thevenin) atau satu sumber arus dan satu resistan parallel (Theorema Norton). Tegangannya disebut sebagai tegangan pengganti U_T dan sumber arusnya disebut sumber arus penggnati I_T sedang kedua resistannya sama.

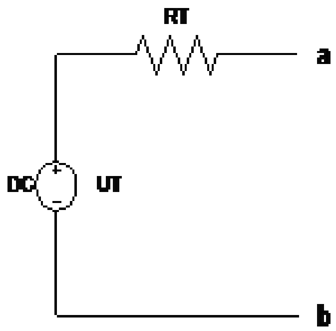
Teori Thevenin dan Norton hanya diterapkan untuk rangkaian dua terminal, yang terdiri dari elemen resistan dan sumber tegangan konstan.

Teori Thevenin



Gambar 4.2 Rangkaian aktif dua Terminal

Menurut Thevenin, sebuah rangkaian aktif dua terminal dapat diganti dengan sebuah sumber tegangan U_T dan Resistan R_T yang terhubung seri (Gambar 4.3).

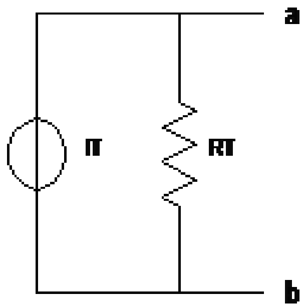


Gambar 4.3 Sirkit ekivalen Thevenin

mana U_T merupakan tegangan sirkit terbuka dari rangkaian dua terminal (Uab) dan R_T merupakan resistansi total dilihat dari terminal a-b ketika sumber tegangan dari rangkaian dua terminal tersebut dihubung singkat.

Teori Norton

Dan menurut Norton, sebuah rangkaian dengan dua terminal dapat diganti dengan sebuah sumber arus konstan I_T dan sebuah resistan paralel R_T.

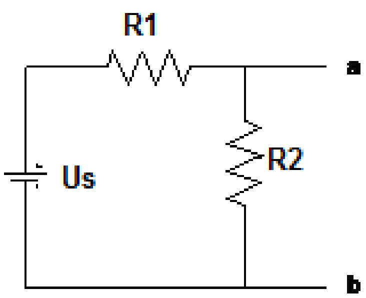


Gambar 4.4 Sirkit Ekivalen Norton

Di mana I_T merupakan arus hubung singkat yaitu arus ketika terminal a-b dihubung singkat dan R_T merupakan resistansi total dilihat dari terminal a-b ketika sumber tegangan dari rangkaian dua terminal tersebut dihubung singkat.

Contoh 1:

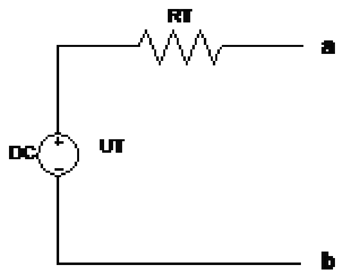
Tentukan sirkit ekivalen thevenin dan norton, dari suatu rangkaian aktif dua terminal yang memiliki dua resistor R1=10 ohm, R2=30 ohm, dan Us = 12V, seperti gambar berikut.



Solusi:

Menurut thevenin, sebuah rangkaian dua terminal dapat diganti dengan sebuah sumber tegangan U_T, yaitu tegangan sirkit terbuka pada terminal a-b dan Resistan R_T, yang terhubung seri, di mana R_T adalah resistansi total ketika Us dihubung singkat ($R_1//R_2$).

Sirkit ekivalen thevenin adalah:



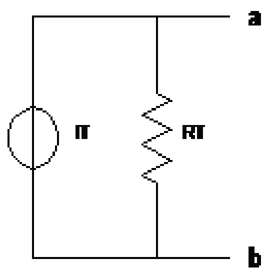
Di mana:

$$U_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} x\, Us = \frac{30}{10+30} x\, 12 = 9\,V$$

$$R_T = \frac{R_1 x R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10x30}{10+30} = 7{,}5\,\Omega$$

Menurut Norton, sebuah rangkaian dengan dua terminal dapat diganti dengan sebuah sumber arus konstan I_T dan sebuah resistan paralel R_T. Di mana I_T merupakan arus hubung singkat yaitu arus ketika terminal a-b dihubung singkat dan R_T merupakan resistansi total dilihat dari terminal a-b ketika sumber tegangan dari rangkaian dua terminal tersebut dihubung singkat

Sirkit ekivalen Norton:



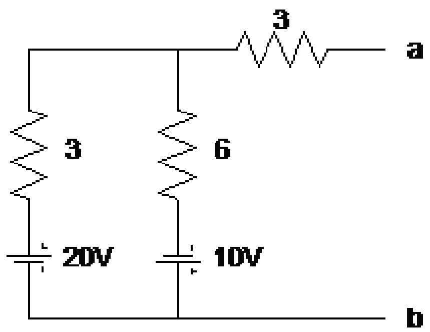
Di mana

$$I_T = \frac{Us}{R_1} = \frac{12}{10} = 1{,}2\ A$$

$$R_T = \frac{R_1 x R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10x30}{10+30} = 7{,}5\,\Omega$$

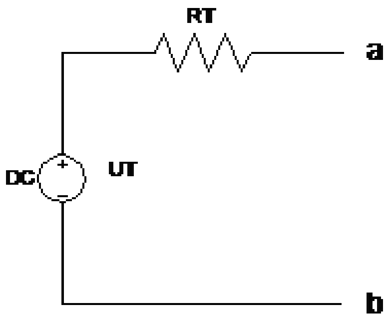
Contoh 2:

Tentukan sirkit ekivalen thevenin, dari suatu rangkaian aktif dua terminal, seperti gambar berikut.



Solusi:

Rangkaian ekivalen thevenin:



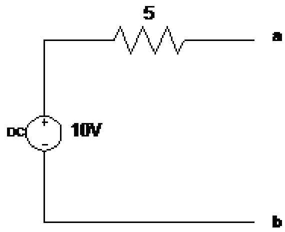
Di mana:

$$RT = \frac{3x6}{3+6} + 3 = 5\,\Omega$$

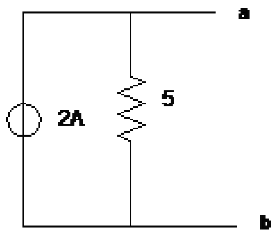
Tegangan pengganti Thevenin :

UT = 10 V

Sedangkan rangkaian pengganti Norton/thevenin adalah sebagai berikut :



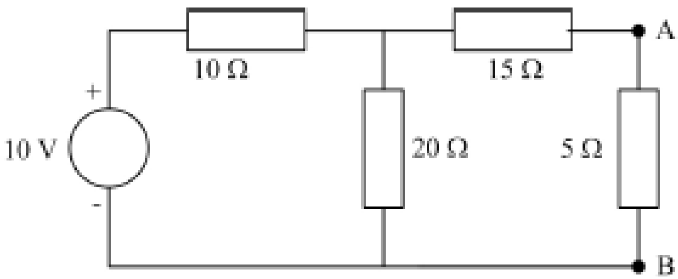
(a) Rangkaian pengganti Thevenin:



(b) Rangkaian Pengganti Norton:

Untuk menentukan besarnya sumber arus konstan pada rangkaian pengganti Norton dapat dilakukan sebagai berikut. Hubung singkat terminal ab pada rangkaian pengganti Thevenin. Sehinga kita dapat menghitung arus yang mengalir pada rangkaiannya yaitu : I = 10 / 5 = 2 A. Arus sebesar 2 A ini adalah sumber arus konstan untuk rangkaian pengganti Norton.

Tugas: Gunakan Teori Thevenin dan Norton untuk menentukan arus yang mengalir pada resistor 5 ohm dalam sirkit beriku!

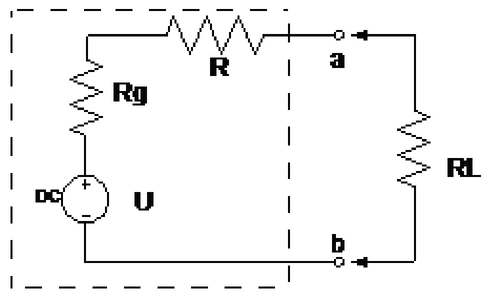


3. Transfer Daya maksimum

Teori ini pada umumnya digunakan secara khusus untuk menganalisa jaringan komunikasi. Efisiensi keseluruhan dari suatu jaringan yang mengupah daya maksimum kepada setiap cabang adalah 50%. Oleh karena itu penerapan teori ini untuk jaringan transmisi daya dan distribusi sangat terbatas. Di mana yang diharapkan pada jaringan transmisi dan distribusi adalah efisiensi yang tinggi dan bukannya pemindahan daya maksimum.Dalam kasus-kasus jaringan komunikasi, seringkali suatu jaringan ditujukan untuk menerima atau mengirimkan daya maksimum sekalipun efisiensinya kurang. Misalkan jika daya yang dipindahkan tersebut hanya dalam ukuran miliwatt atau microwatt.

Masalah-masalah pemindahan daya maksimum adalah menyangkut pengerjaan kawat-kawat transmisi dan antene yang cukup kritis. Penerapan pada jaringan arus searah (DC), maka teori ini dapat ditetapkan sebagai berikut: Suatu beban resistif akan mengambil daya maksimum dari suatu jaringan, jika beban tahanan tersebut sama dengan tahanan dari jaringan, dilihat dari terminal out put, dengan semua sumber tegangan ditiadakan dan hanya tahanan-tahanan dalamnya yang tinggal.

Contoh :



Rg = tahanan dalam generator

R = tahanan penghantar

RL = tahanan beban

Rg + R = tahanan jaringan

Gambar 4.5 Sirkit ekivalen jaringan listrik

Menurut teori ini maka RL akan mengambil daya maksimum dari jaringan jika RL = Ri di mana Ri adalah tahanan total jaringan dalam kasus ini Rg + R.

Analisis :

Arus rangkaian adalah : $I = \dfrac{U}{RL + Ri}$

Daya yang diambil beban adalah : $P_L = I^2 R_L = \dfrac{U^2 R_L}{(R_L + Ri)^2}$ ……… (1)

Untuk mencapai PL menjadi maksimum, maka : $\dfrac{dP_L}{dR_L} = 0$

Dengan men-deferensialkan persamaan (1) di atas, didapatkan :

$$\frac{dPL}{dRL} = U^2 \{\frac{1}{(R_L + R)^2} + R_L(\frac{-2}{(R_L + Ri)^3}\}$$

$$= U^2 \{\frac{1}{(RL + Ri)^2} - \frac{2RL}{(RL + Ri)^3}\}$$

Selanjutnya didapatkan :

$$\frac{dU^2 R_L (R_L + Ri)^{-2}}{dR_L} = 0$$

$$\frac{\{U^2 (R_L + Ri)^{-2} + U^2 R_L = 2(R_L + Ri)^{-3}\} dR_L}{dR_L}$$

$$\frac{U^2}{(R_L + Ri)^2} - \frac{2R_L U^2}{(R_L + Ri)^3} = 0$$

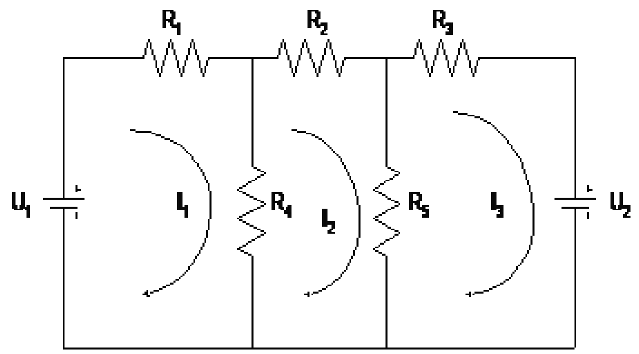
$$U^2 \{\frac{1}{(R_L + Ri)^2} - \frac{2R_L}{(R_L + Ri)^3}\} = 0$$

Akhirnya didapatkan : 2 R_L = R_L + Ri atau R_L = Ri (terbukti)

4. Teori Maxwell

Untuk mengatasi rasa bosan seperti yang dijelaskan di atas maka Maxwell memperkenalkan suatu metoda yang disebutnya sebagai metoda arus-arus loop (current-loop) untuk menyelesaikan permasalahan jaringan listrik yang rumit. Dalam metode ini Maxwell mengembangkan aturan-aturan yang telah dikemukaan oleh Kirchoff dalam Hukum Kirchoff tegangan dan menerapkanya melalui loop-loop yang yang dibentuk pada rangkaian yang bersangkutan.

Dengan menerapkan arah arus loop maka arah arus pada setiap cabang resistor secara otomatis dapat mengikuti arah loop tersebut. Sehingga kita tidak perlu memperkirakan lagi secara khusus arah arus setiap cabang.
Berikut ini diberikan contoh aplikasinya.



Gambar 4.6 Sirkit Paralel 3 loop

Dari gambar diketahui suatu rangkaian listrik yang terdiri dari dua buah sumber tegangan (betere) U_1 dan U_2 dan lima buah resistor R_1, R_2, R_3, R_4 dan R_5 yang tersambung secara seri dan parallel.

Untuk menyelesaikan masalah ini, maka Maxwell membuat perkiraan arus loop sebanyak tiga buah loop dengan arah arus searah jarum jam, yaitu loop pertama dengan arus I_1, loop kedua dengan arus I_2 dan loop ketiga dengan arus I_3 .

Dengan arus loop ini kita akan mudah menentukan arus pada setiap cabangnya. Misalnya : arus pada R_1 adalah I_1, pada R_4 adalah $I_1 - I_2$, pada R_2 adalah I_2, pada R_5 adalah $I_2 - I_3$ dan pada R_3 adalah I_3.

Dengan menerapkan hukum tegangan dari Kirchoff kepada ketiga loop tersebut maka kita dapatka :

Loop I

$U_1 - I_1.R_1 - (I_1 - I_2).R_4 = 0$

$I_1 (R_1 + R_4) - I_2. R_4 - U_1 = 0$

Loop II

$-I_2.R_2 - (I_2 - I_3). R_5 -(I_2 - I_1).R_4 = 0$

$I_1.R_4 - I_2. (R_2 + R_4 + R_5) + I_3.R_5 = 0$

Loop III

$- I_3.R_3 - U_2 - (I_3 - I_2).R_5 = 0$

$I_2.R_5 - I_3 (R_3 + R_5) - U_2 = 0$

Dengan menyelesaikan ketiga persamaan loop tersebut akan kita dapatkan semua arus cabang yang ada pada rangkaian tersebut.

Arus Mata Jala dan Matriks

Persamaan simultan n dari sebuah jaringan mata jala dapat dituliskan dalam bentuk matriks. Elemen-elemen matriks dapat digunakan dalam bentuk umum sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

Bila kita terapkan ke contoh aplikasi metoda loop dari Maxwell di atas maka kita dapatkan sebagai berikut :

Elemen R_{11} (baris 1, kolom 1) adalah jumlah dari semua tahanan di mana arus mata jala I_1 melewatinya yakni R_1 dan R_4. Dengan cara yang sama, elemen R_{22} (baris 2, kolom 2) dan R_{23} (baris 2, kolom 3) adalah jumlah dari semua tahanan di mana arus I_2 dan I_3 melewatinya.

Elemen R_{12} (baris 1, kolom2) adalah jumlah dari semua tahanan di mana arus mata jala I_1 dan I_2 melewatinya. Tanda R_{12} adalah positif jika kedua arus dalam arah yang sama melalui masing-masing tahanan dan negatif bila mereka dalam arah yang berlawanan.

Dalam contoh di atas R_4 adalah satu-satunya tahanan milik bersama bagi arus I_1 dan I_2 dan arah-arah arusya adalah melawan arah dalam R_4 sehingga tandanya adalah negatif. Dengan cara yang sama, elemen R_{21}, R_{23}, R_{13} dan R_{31} adalah penjumlahan dari tahanan-tahanan bersama bagi kedua arus mata jala yang ditunjukkan oleh angka subskrip-nya.

Matrik arus tidak memerlukan penjelasan, karena elemen-elemen berada dalam sebuah kolom tunggal dengan angka subskrip 1, 2 dan 3. untuk memperlihatkan arus mata jala yang bersangkutan.

Elemen U_1 dalam matriks tegangan adalah penjumlahan dari semua sumber tegangan yang mengerakkan arus mata jala I_1. Di dalam menghitung penjumlahan, sebuah tegangan dihitung positif bila I_1 lewat dari terminal negatif ke terminal positif dari sumber, jika tidak maka dihitung negatif. Dengan kata lain, sebuah tegangan adalah positif jika sumber menggerakkan arus dalam arah yang sama dengan arus mata jala.

Dalam contoh di atas, mata jala 1 memiliki satu sumber tegangan U_1 menggerakkan arus dalam arah I_1, mata jala 2 tidak memiliki sumber dan mata jala 3 memiliki

sumber U_2 menggerakkan arus beralwanan dengan arah I_3 sehingga membuat U_3 menjadi negatif. Untuk lebih jelasnya perhatikan hasil berikut ini:

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_4 & -R_4 & 0 \\ -R_4 & R_2 + R_4 + R_5 & -R_5 \\ 0 & -R_5 & R_5 + R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ 0 \\ U2 \end{bmatrix}$$

Persamaan matriks yang didapat dari metode arus mata jala dapat diselesaikan dengan berbagai cara. Salah satu yang banyak disukai adalah metode determinan dari Cramer, sebagai berikut:

Arus I_1 yang tidak diketahui diperoleh sebagai perbandingan antara dua determina. Determinan penyebut memiliki elemen-elemen dari matriks tahanan Ini bisa ditunjukkan sebagai determinan dari koefisien-koefisien dan diberi simbol ΔR. Determinan pembilang meiliki elemen yang sama seperti ΔR kecuali dalam kolom pertama di mana elemen matriks tegangan menggantikan elemen determinan koefisien. Jadi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$I_1 = \begin{bmatrix} U_1 & R_{12} & R_{13} \\ U_2 & R_{22} & R_{23} \\ U_3 & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta R} \begin{bmatrix} U_1 & R_{12} & R_{13} \\ U_2 & R_{22} & R_{23} \\ U_3 & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$

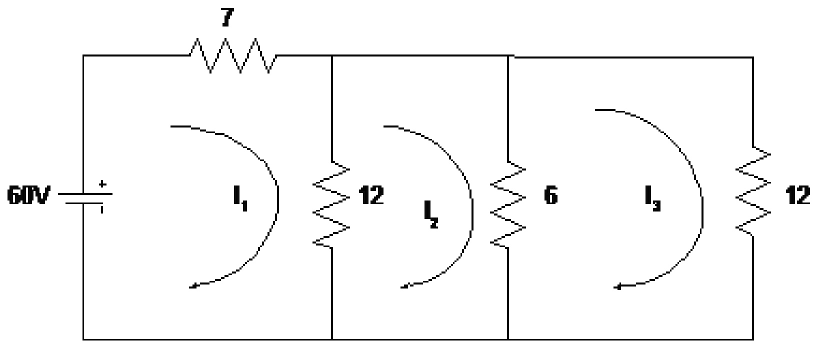
Dengan cara yang sama kita dapatkan harga arus mata jala lainya, yaitu:

$$I_2 = \frac{1}{\Delta R}\begin{bmatrix} R_{11} & U_1 & R_{13} \\ R_{21} & U_2 & R_{23} \\ R_{31} & U_3 & R_{33} \end{bmatrix}$$

$$I_3 = \frac{1}{\Delta R}\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & U_1 \\ R_{21} & R_{22} & U_2 \\ R_{31} & R_{32} & U_3 \end{bmatrix}$$

Contoh Soal :

Tentukan parameter arus mata jala pada rangkaian berikut ini :



Penyelesaian :

Penerapan hukum tegangan Kirchoff pada masing-masing mata jala menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$60 = 7I_1 + 12\ (I_1\text{-}I_2)$

$0 = 12(I_2–I_1) + 6(I_2\text{-}I_3)$

$0 = 6(I_3\text{-}I_2) + 12I_3$

Persamaan Matriks-nya didapat sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 19 & -12 & 0 \\ -12 & 18 & -6 \\ 0 & -6 & 18 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 60 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Sesuai aturan Cramer kita dapatkan harga I_1 Yaitu :

$$I_1 = \begin{bmatrix} 60 & -12 & 0 \\ 0 & 18 & -6 \\ 0 & -6 & 18 \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} 19 & -12 & 0 \\ -12 & 18 & -6 \\ 0 & -6 & 18 \end{bmatrix} = \frac{17280}{2880} = 6A$$

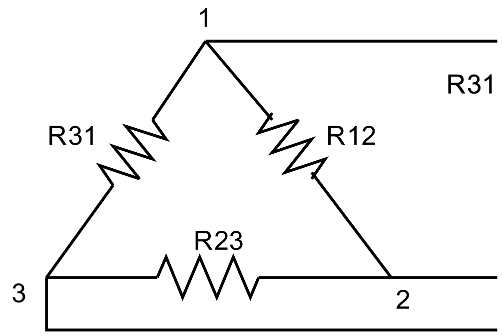
Tugas:

Berikan Komentarmu tentang aplikasi determinan untuk menyelesaikan masalah rangkaian listrik seperti contoh di atas.

5. Transformasi Star-Delta

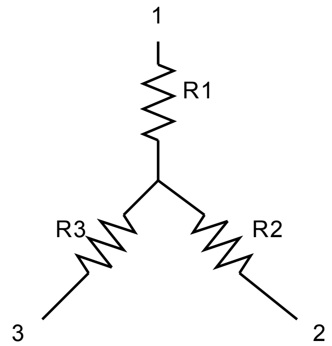
Penerapan hukum Kirchoff pada penyelesaian jaringan-jaringan yang mempunyai banyak cabang-cabang paralel, akan menjumpai banyak persamaan yang harus diselesaikan sekaligus sehingga seringkali membuat sulit penyelesaiannya. Penerapan teori Transformasi segitiga bintang atau sebaliknya dapat mengatasi masalah tersebut di atas. Jaringan yang komplek seperti itu dapat disederhanakan dengan mengganti cabang-cabang atau rangkaian yang tersambung segitiga dengan rangkaian yang tersambung dalam bintang yang ekivalen dengan rangkaian segitiganya atau sebaliknya.

Misalnya diketahui tiga buah resistor R12, R23 dan R31 tersambung dalam segitiga seperti gambar berikut ini :



Gambar 4.7 Sambungan Delta

Rangkaian segitiga seperti di atas dapat diganti dengan rangkaian bintang dengan R1, R2 dan R3 di mana kedua rangkaian tersebut ekivalen.



Gambar 4.8 Sambungan Star

Kedua macam sambungan tersebut di atas dikatakan ekivalen secara listrik, jika resistor yang diukur antara setiap pasang terminal mempunyai harga yang samabagi kedua macam sambungan tersebut.

Perhatikan sambungan segitiga, antara terminal 1 dan 2 terdapat dua jalur parallel, yaitu antara R_{12} paralel dengan jumlah (R_{23} + R_{31}). Sehingga tahanan antara terminal 1 dan 2 adalah :

$$= \frac{R12x(R23 + R31)}{R12 + (R23 + R31)}$$

Perhatikan sambungan bintang, antara terminal 1 dan 2 terdapat terdapat dua jalur dalam seri yaitu R1 dan R2 atau tahanan totalnya menjadi:

= R1 + R2

Tahanan antara terminal 1 dan 2 baik dalam segitiga maupun dalam bintang harus sama, sehingga :

$$R1 + R2 = \frac{R12x(R23 + R31)}{R12 + R23 + R31} \quad \ldots\ldots\ldots.. (1)$$

Begitu pula untuk terminal 2 dan 3 serta terminal 3 dan 1, didapatkan harga :

$$R2 + R3 = \frac{R23x(R31 + R12)}{R12 + R23 + R31} \quad \ldots\ldots.. (2)$$

$$R3 + R1 = \frac{R31x(R12 + R23)}{R12 + R23 + R31} \quad \ldots.. (3)$$

Untuk menyelesaiakan persamaan tersebut, dilakukan sebagai berikut :

Persamaan (1) dikurangi dengan persamaan (2) dan hasilnya ditambah dengan persamaan (3), maka akan didapatkan harga-harga elemen dalam bintang, yaitu : R1, R2 dan R3 sebagai berikut :

Harga R1 adalah :

$$R1 = \frac{R31xR12}{R12 + R23 + R31} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots. (4)$$

Harga R2 adalah :

$$R2 = \frac{R12xR23}{R12 + R23 + R31} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Harga R3 adalah :

$$R3 = \frac{R31xR23}{R12 + R23 + R31} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Perhatikan : Dari ketiga persamaan di atas, nampaklah bahwa setiap pembilang (numerator) adalah hasil kali dari kedua sisi segitga yang bertemu pada titik dalam bintang, sehinga dapat didefinisikan sebagai berikut :

Tahanan masing-masing lengan bintang sama dengan hasil kali tahanan-tahanan dari dua buah sisi segitiga yang bertemu pada ujung-ujungnya, dibagi dengan jumlah dari ketiga buah tahanan-tahanan dalam delta.

Transformasi Star-Delta

Transformasi dari rangkaian bintang ke segitiga lebih mudah dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan (1), (2) dan (3) di atas sebagai berikut:

Kita kalikan persamaan (1) dan (2). Persamaan (2) dan (3) dan persamaan (3) dan (1).

$$R1.R2 = \{\frac{R31.R12}{R12 + R23 + R31}\}\{\frac{R12.R23}{R12 + R23 + R31}\}$$

$$R1.R2 = \{\frac{(R12)^2.R13.R23}{R12 + R23 + R31}\}$$

$$R2.R3 = \{\frac{R12.R23}{R12 + R23 + R31}\}\{\frac{R31.R23}{R12 + R23 + R31}\}$$

$$R2.R2 = \{\frac{R12.R13.(R23)^2}{R12 + R23 + R31}\}$$

$$R1.R3 = \{\frac{R31.R12}{R12 + R23 + R31}\}\{\frac{R31.R23}{R12 + R23 + R31}\}$$

$$R1.R3 = \{\frac{R12.(R13)^2.R23}{R12 + R23 + R31}\}$$

Hasil ketiga perkalian tersebut saling ditambahkan kemudian disederhanakan. Setelah itu masing-masing dibagi dengan persamaan (4), (5) dan (6).

Hasil akhirnya didapatkan sebagai berikut :

$$R12 = \frac{R1R2 + R2R3 + R3R1}{R3}$$

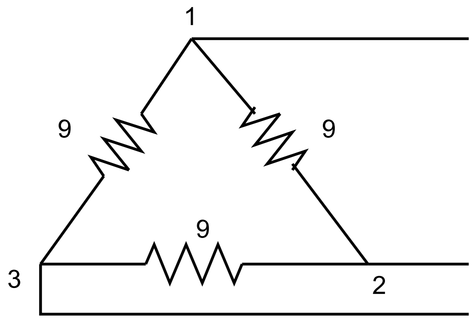
$$R23 = \frac{R1R2 + R2R3 + R3R1}{R1}$$

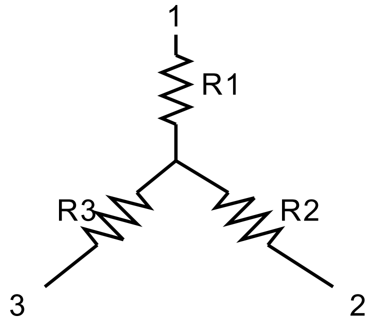
$$R31 = \frac{R1R2 + R2R3 + R3R1}{R2}$$

Perhatikan :

Tahanan segitiga ekivalen antara dua terminal adalah jumlah dari hasil kali dua tahanan-tahanan dalam bintang pada terminal tersebut dibagi dengan tahanan bintang ketiga.

Contoh : Tentukan tahanan ekivalen dalam bintang dari rangkaian segitiga berikut ini :





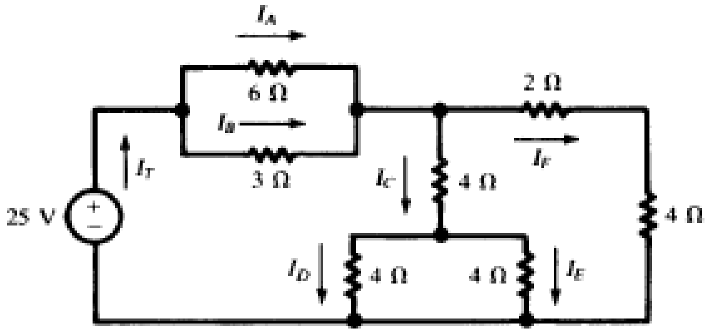
Penyelesaian :

$$R1 = \frac{9x9}{9+9+9} = \frac{81}{27} = 3$$

$$R2 = \frac{9x9}{9+9+9} = \frac{81}{27} = 3$$

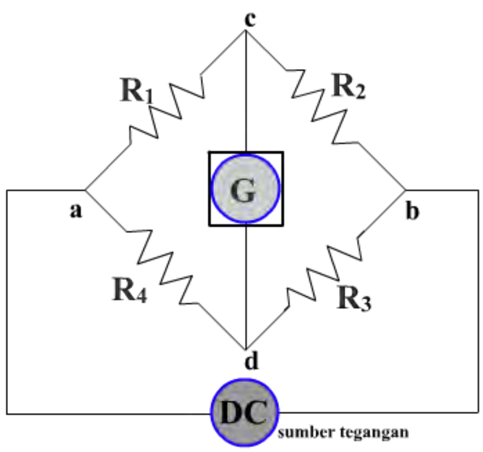
$$R3 = \frac{9x9}{9+9+9} = \frac{81}{27} = 3$$

Tugas : Tentukan arus total (I_T) yang dikeluarkan oleh sumber tegangan 25 V yang mencatu rangkaian listrik berikut, selanjutnya tentukan juga pembagian arus cabang I_A dan I_B



6. Rangkaian Jembatan

Jembatan wheatstone adalah susunan komponen komponen elektronika yang berupa resistor dan catu daya seperti tampak pada gambar berikut ;



Gambar 4.9 Rangkaian Jembatan

Hasil kali antara resistor-resistor berhadapan yang satu akan sama dengan hasil kali resistro-resistor berhadapan lainnya jika beda potensial antara c dan d bernilai nol. Persamaan R1 . R3 = R2 . R4 dapat diturunkan dengan menerapkan Hukum Kirchoff dalam rangkaian tersebut.

Rangkaian jembatan digunakan untuk mengukur nilai suatu hambatan dengan cara *mengusahakan arus yang mengalir pada galvanometer = nol* (karena potensial di ujung-ujung galvanometer sama besar).

Jadi berlaku rumus perkalian silang hambatan :$R_1 R_3 = R_2 R_x$

Tugas:

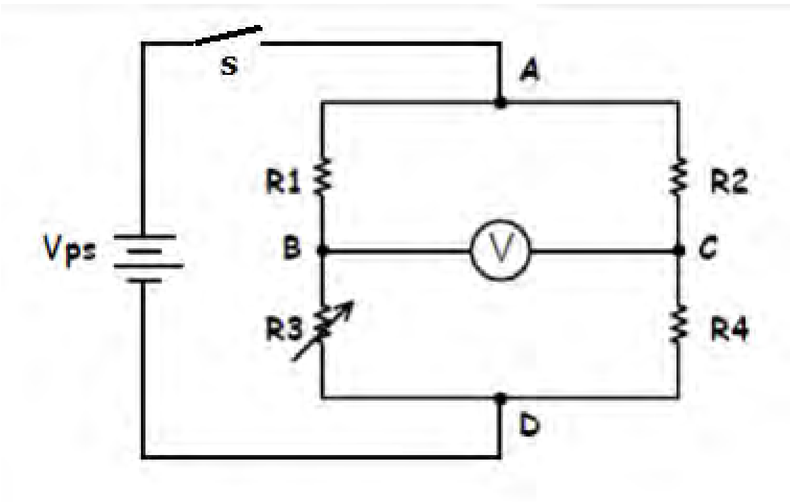
Kumpulkan informasi dari berbagai sumber belajar terpercaya terkait dengan aplikasi rangkaian jembatan Wheat Stone dalam kehidupan nyata sehari-hari. Telaah lebih mendalam informasi yang telah kalian kumpulkan, dan presenasikan hasilnya di kelas.

Tugas Praktek: Menganalisa Rangkaian Jembatan Resistor

Melalui kerja proyek ini, kalian akan memeriksa parameter rangkaian arus searah yang terdiri dari beberapa resistor yang membentuk rangkaian jembatan melalui sebuah eksperimen. Disebut rangkaian jembatan karena identik dengan model jembatan. Rangkaian jembatan banyak diterapkan pada sistem instrumebntasi dan kontrol sebagai rangkaian pengkondisi sinyal. Untuk itu, kalian harus merancang proyek eksperimen tersebut secara berkelompok.

Petunjuk:

1. Rangkaian jembatan dibentuk melalui empat buah resistor R1, R2, R3, dan R4 yang dihubungkan secara seri dan paralel sedemikian sehingga membentuk konfigurasi khusus seperti diperlihatkan dalam gambar berikut.



2. Amati rangkaian jembatan tersebut dan identifikasi bahan dan alat yang diperlukan untuk eksperimen. Kemudian persiapkan eksperimen untuk melakukan pemeriksaan yang lebih mendalam terkait dengan rangkaian jembatan. Untuk itu persiapkan bahan-bahan yang dibutuhkan.
3. Untuk memudahkan analisis kalian, pilih nilai resistansi resistor sebagai berikut: R1= R2 = 100 Ohm. R3=200 Ohm, dan R3 (variable resistor) = 0 – 200 Ohm.
4. Buat rangkaian seperti gambar.
5. Aktifkan rangkaiannya dengan menutup sakelar S.
6. Atur resistor variabel R3, apa yang kalian peroleh?
7. Apakah voltmeter dapat menunjuk nilai nol volt?
8. Apakah voltmeter dapat menunjuk nilai maksimum?
9. Bila sudah selesai kembalikan semua alat bahan seperti semula.
10. Laporkan hasil penelitian kalian, dan presentasikan di kelas.

Tugas Lanjutan:

Kumpulkan informasi dari berbagai sumber belajar terpercaya terkait dengan aplikasi rangkaian jembatan yang dikenal dengan jembatan Wheat Stone. Telaah lebih mendalam informasi yang telah kalian kumpulkan, dan presentasikan hasilnya di kelas

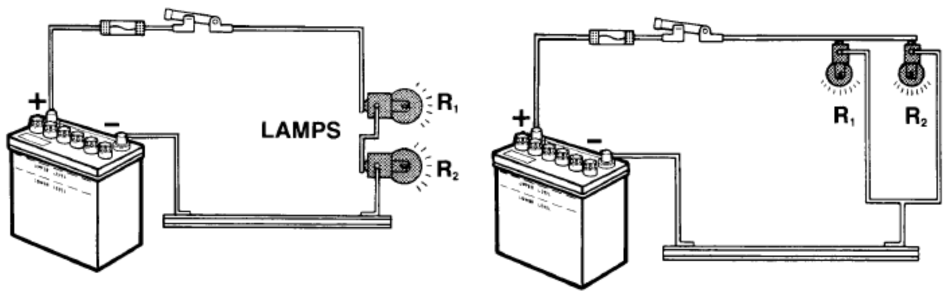
E. Kegiatan Belajar 5

Memeriksa Daya dan Konsumsi Energi Listrik

Tugas Pengamatan:

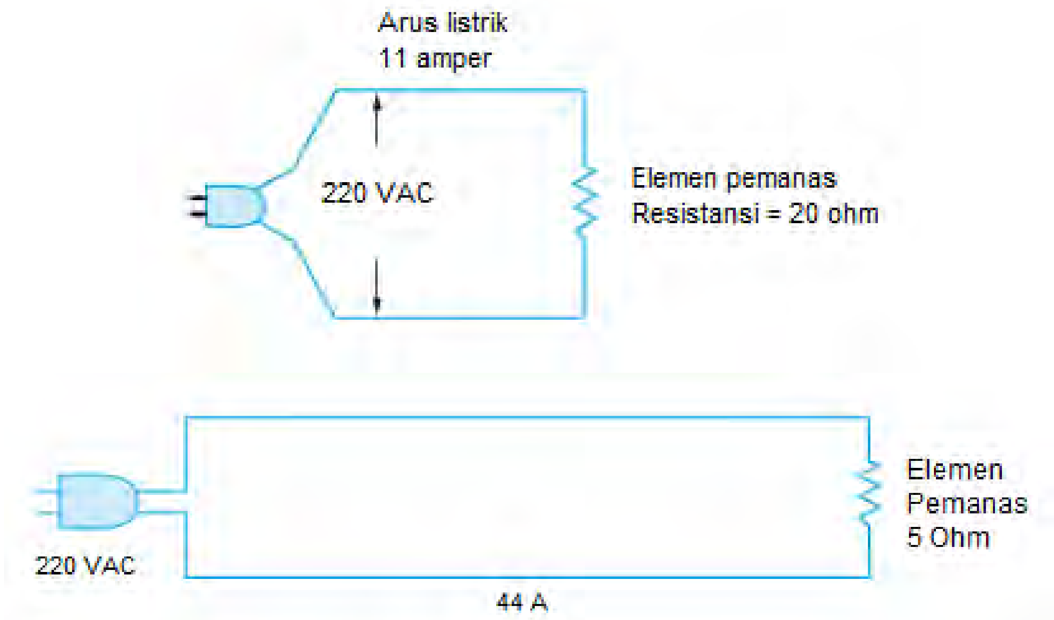
Tugas kalian kali ini adalah melakukan prediksi melalui analisis terhadap dua eksperimen yang melibatkan sebuah akumulator, sebuah sakelar dan dua buah lampu pijar ysng memiliki resistan sama sebesar 24 ohm. Perhatikan Gambar 5.1 A dan Gambar B berikut ini.

Diskusikan dengan teman sekelompok. Lampu pada rangkaian manakah yang akan menyala lebih terang dan pada rangkaian manakah yang menyala lebih redup. Untuk menjawab pertanyaan tersebut kalian harus melakukan analisis terhadap dua rangkaian. Kemudian buktikan hasil prediksi kalian dengan melakukan pembuktian melalui sebuah percobaan.



Gambar 5.1 Lampu dalam Hubungan Seri dan Paralel

Peralatan listrik atau beban listrik yang ada di dalam rangkaian listrik yang memproduksi suatu kerja tertentu lazim direpresentasikan sebagai resistan dari suatu rangkaian. Gambar 5.2 memperlihatkan dua rangkaian listrik yang memiliki resistan berbeda.

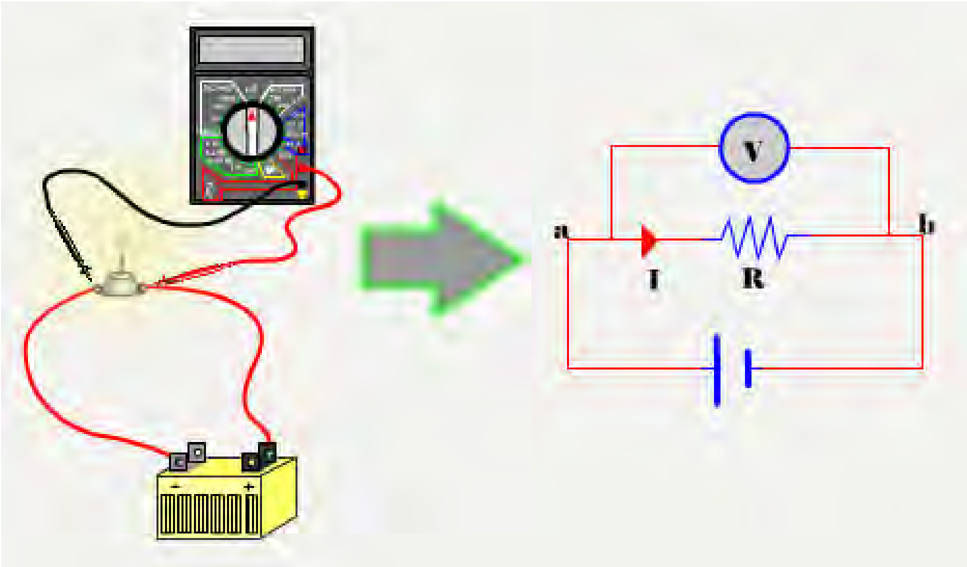


Gambar 5.2 Contoh Rangkaian Listrik

Setiap peralatan listrik memiliki resistansi tertentu. Besarnya resistan tergantung pada ukuran dan keperluan peralatannya. Sebagai personil pemeliharaan, sudah seharusnya mengetahui nilai resistan dari setiap komponen yang ditanganinya. Bila nilai resistannya berbeda dari nilai yang telah ditentukan, maka komponen listrik tersebut dapat dinyatakan mengalami kerusakan.

Dalam prakteknya, beberapa Industri menggunakan satuan ohm untuk menentukan nilai resistansi. Untuk mengukur nilai resistansi dalam skala kecil lazimnya menggunakan ukuran miliohm, di mana 1 miliohm (mA) = 0.001 ohm (Ω). Sebaliknya untuk mengukur resistan dalam skala besar, digunakan ukuran kiloohm, di mana 1 kiloohm (kΩ) = 1000 ohm (Ω), bahkan untuk mengukur kekuatan isolasi lazim menggunakan ukuran megaohm, di mana 1 megaohm (MΩ) = 1.000.000 ohm.

Seperti telah kalian ketahui bahwa energi adalah suatu kemampuan untuk melakukan usaha. Terkait dengan listrik, untuk memindahkan sejumlah muatan potensial yang satu ke potensial lainnya, di mana kedua potensial memiliki nailai berbeda, maka dibutuhkan energi. Perhatikanlah gambar berikut:



Gambar 5.3 Rangkaian Lampu Pijar

Perhatikanlah gambar 5.3 di atas. Pada gambar tersebut terlihat sebuah lampu pijar yang memiliki resistansi R dihubungkan dengan dengan sebuah sumber tegangan listrik (akumulator) sehingga menimbulkan tegangan Vab antar ujung-ujung lampu atau dengan kata lain beda tegangan antara ujung-ujung lampu R menjadi V dengan kuat arus sebesar I mengalir selama selang waktu Δt. Besarnya energi listrik yang yang diberikan oleh sumber tegangan untuk memindahkan muatan pada filamen lampu yang resistansinya R tersebut dinyatakan dengan persamaan

$W = V \cdot \Delta Q$ atau $W = V \cdot I \cdot \Delta t$

Dalam hal ini W adalah energi yang dihasilkan oleh sumber tegangan jika sumber tegangan tersebut menghasilkan arus listrik sebesar I amper dalam selang waktu Δt sekon dengan beda potensial sebesar V volt.

Dengan menerapkan Hukum Ohm pada suatu rangkaian listrik (I = V/R), maka persamaan untuk energi listrik dapat dituliskan dalam bentuk lain seperti berikut

$W = V \cdot I \cdot \Delta t$

$W = I \cdot R \cdot I \cdot \Delta t$

$W = I^2 . R . \Delta t$

$W = V^2/R . \Delta t$

1. Daya Listrik

Ketika elektron bergerak dari suatu ujung bermuatan negatif ke ujung bermuatan positif pada suatu konduktor, berarti telah dilakukan suatu usaha listrik. Daya listrik merupakan laju dari electron mengerjakan suatu usaha listrik. Ini berarti, daya listrik merupakan kapasitas di mana suatu usaha listrik digunakan. Daya listrik diukur dalam satuan watt (W) atau kilowatt (kW). Di mana daya listrik sebesar satu watt listrik diperlukan untuk menyalurkan arus sebesar satu amper pada tekanan listrik sebesar satu volt. Atau secara matematik pesrsamannya dapat dituliskan sebagai berikut :

Daya Listrik = Tegangan Listrik x Arus Listrik

Daya dikatakan sebagai rata-rata kerja yang dilakukan per satuan waktu. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} x \frac{dq}{dt} = \text{v x i}$$

Pada rangkaian arus bolak-balik, tegangan dan arus tidak sefasa. Maka untuk memperoleh daya listrik yang benar (daya aktif) dalam suatu rangkaian arus bolak-balik, perkalian tegangan dan arus masih harus dikalikan dengan nilai factor daya. Di mana faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif (diukur dengan wattmeter) dan perkalian antara tegangan dan arus Lazimnya factor daya dinyatakan dalam prosentase. Secara matematik, factor daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Faktor\ daya = \frac{Daya\ aktif}{Tegangan\ x\ arus} x\, 100\%$$

Pada rangkaian arus searah, perkalian antara tegangan dan arus memberikan nilai daya listrik yang diperlukan oleh rangkaian tersebut, di mana factor daya tidak diperlukan dalam rangkaian ini.

Dunia industri menggunakan satuan watt untuk peralatan yang mengkonsumsi listrik dalam jumlah kecil. Contoh peralatan listrik yang menggunakan satuan watt adalah seterika listrik, rice cooker, dan hair dryer. Peralatan refrigerasi dan tata udara lazimnya menggunakan satuan horsepower (hp) dan british thermal unit (Btu). Di mana 1 hp = 746 watt, dan 1 watt = 3,41 Btu/hour.

1 Hp = 746 watt

1 watt = 3,41 Btu/hour

Konversi lazim digunakan di industri refrigerasi dan tata udara untuk menghitung kapasitas suatu pemanas listrik dalam Btu/hour, bila yang diketahui nilai daya listrik dalam satuan watt. Konversi dari satuan watt ke satuan Hp juga kadang-kadang diperlukan.

2. Konsumsi Energi Listrik

Dalam pelajaran IPA kalian sudah tahu, bahwa usaha adalah kerja yang dilakukan oleh gaya sebesar satuNewton untuk memindahkan benda sejauh satumeter. Usaha merupakan energi. Dalam Hukum Kekekalan Energi dikatakan bahwa Energi tidak dapat dihasilkan dan tidak dapatdihilangkan. Energi hanya berpindah dari satubentuk ke bentuk yang lainnya. Contoh, Pembangkit Listrik Tenaga Air, energi dari air yangbergerak berubah menjadi energi listrik,Energi listrik akan berubah menjadi energi cahayadan energi panas jika anergi listrik tersebutmelewati suatu lampu.

Jumlah daya listrik yang telah digunakan dalam satuan waktu tertentu lazim disebut energi listrik. Energi listrik diukur wattjam (Wh). Sebagai contoh, sebuah pemanas yang berdaya 5000 watt beroperasi selama 2 jam, maka pemanas tersebut mengkonsumsi energy listrik sebesar 10.000 wattjam (Wh).

Konsumsi energy listrik yang ditarik oleh peralatan listrik hanya mengindikasikan jumlah daya listrik yang telah digunakan oleh peralatan tersebut selama periode waktu tertentu. Ukuran energi listrik dalam satuan Wattjam menyatakan jumlah watt yang telah digunakan dalam satuan waktu tertentu.

Satuan kilowatthour (kWh) lazim digunakan untuk menghitung pemakaian energi listrik yang telah digunakan selama periode tertentu. Untuk mengukur konsumsi energy listrik digunakan alat ukur yang disebut kWhmeter. Perusahaan yang bergerak di bidang energy listrik lazm menjual listrik dalam satuan kWh.

Perhitungan Konsumsi Energi Listrik

Dalam beberapa kasus diperlukan menghitung kebutuhan daya suatu perlatan listrik untuk memastikan besaran konsumsi energy listrik yang digunakan oleh suatu peralatan listrik. Untuk keperluan praktis, lazimnya daya listrik dikodekan denga hurup besar P.

Berikut ini diberikan tiga contoh menghitung daya listrik pada suatu rangkaian listrik.

Contoh 1: Berapa nilai konsumsi daya listrik pada suatu rangkaian listrik yang menggunakan arus listrik sebesar 15 amper dan tegangan 220 volt?

Solusi:

Langkah 1: P = I x U

Langkah 2 : P = 15 x 220

Langkah 3: P = 3300 watt

Contoh 2: Tentukan kondumsi arus yang digunakan oleh sebuah elemen pemanas listrik 1000 watt (1 kW) dan tegangan 220 volt.

Solusi:

Langkah 1: I = P / U

Langkah 2 : I = 1000 / 220

Langkah 3: I = 4, 54 amper

Contoh 3: Tentukan kondumsi daya yang digunakan oleh sebuah elemen pemanas listrik yang memiliki resistan 100 ohm dan menarik arus listrik 4 amper.

Solusi:

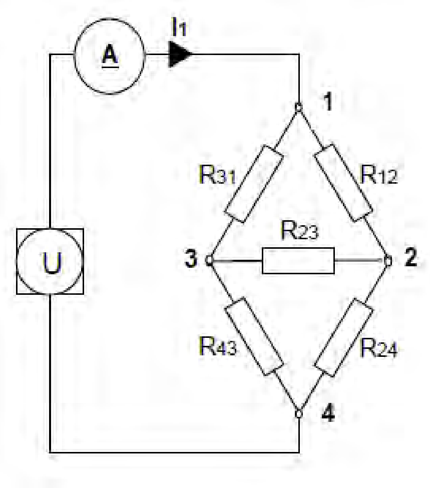
Langkah 1: $P = I^2 \times R$

Langkah 2 : $P = 4^2 \times 100$

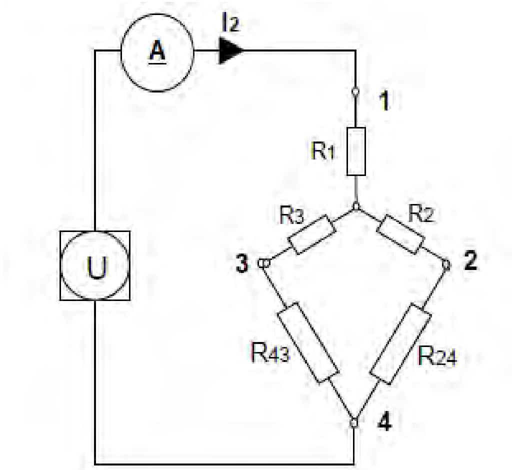
Langkah 3: P = 1600 watt

Permasalahan

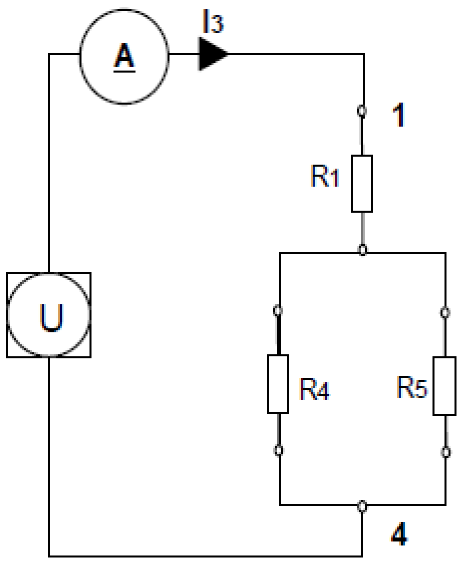
1. Persiapkan sebuah proyek eksperimen seperti gambar berikut ini! Peralatan yang diperlukan adalah sebagai berikut: (1) sumber tegangan atau catu daya U = 10 VDC – 12 VDC, (2) ampermeter DC dengan batas ukur 100 mA – 300mA, (3) empat resistor keramik masing-masing R12, R23, R31, dan R43 = 200 – 300 ohm. Tentukan Nilai arus I1 secara perhitungan dan bandingkan dengan hasil pengukuran.



2. Persiapkan sebuah rancangan proyek eksperimen seperti gambar berikut ini! Kalian harus memilih dan menentukan sendiri peralatan yang akan digunakan. Hitunglah arus I2 dan bandingkan dengan hasil pengukuran.



3. Persiapkan sebuah rancangan proyek eksperimen seperti gambar berikut. Kalian harus memilih dan menentukan sendiri peralatan yang digunakan Hitung arus I3 dan bandingkan hasilnya dengan nilai ukur yang kalian peroleh dari eksperimen.



F. Kegiatan Belajar 6:

Menentukan Kondisi Operasi Pengukuran Arus dan Tegangan

Dalam melakukan kegiatan inspeksi suatu jaringan atau instalasi ketenagalistrikan diperlukan seperangkat alat pengukur. Alat pengukur tersebut digunakan untuk mengukur parameter-parameter jaringan, antara lain arus dan tegangan listrik, daya aktif, daya reaktif, konsumsi energi listrik, tahanan isolasi dan tahanan pentanahan. Kegiatan mengukur besaran-besaran listrik tersebut lazim disebut sebagai pengukuran.

Lembar Kerja 1: Menentukan Nilai Ukur pada Skala Ukur Analog

Tentukan nilai ukur dari skala ukur analog seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.1.

Gambar 6.1 a. Batas ukur yang digunakan adalah: 25 DCV, 50 DCV, dan 100 DCV

Gambar 6.1 b. Batas ukur yang digunakan adalah: 5 A, 10 A, dan 25 A



(a)



(b)

Gambar 6.1 Skala Ukur Meter Analog

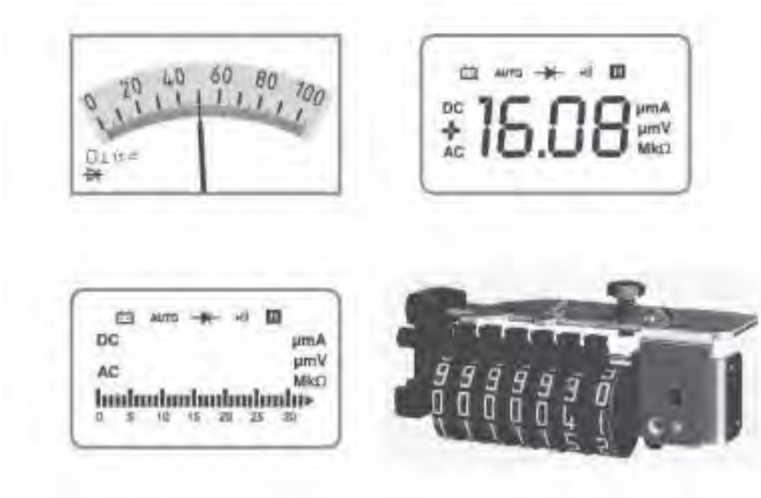
Alat pengukur yang digunakan pada pengukuran besaran listrik, didesain khusus sesuai fungsinya. Alat pengukur tersebut adalah:

- Volt meter untuk mengukur tegagan listrik
- Amper meter untuk mengukur arus listrik
- kW meter untuk mengukur daya aktif
- kvar meter untuk mengukur daya reaktif
- kWh meter untuk mengukur konsumsi energi listrik
- Ohmmeter untuk mengukur tahanan listrik
- Megger atau insulation Tester untuk mengukur tahanan isolasi
- Earth Tester untuk mengukur tahanan pentanahan.

1. Pembacaan nilai ukur

Ada dua sistem pengukuran yaitu sistem analog dan sistem digital. Sistem analogberhubungan dengan informasi dan data analog. Sinyal analog berbentuk fungsi kontinyu,misalnya penunjukan temperatur dalam ditunjukkan oleh skala, penunjuk jarum pada skalameter, atau penunjukan skala elektronik.Sistem digital berhubungan dengan informasi dan data digital. Penunjukan angka digital berupa angka diskret dan pulsa diskontinyu berhubungan dengan waktu. Penunjukan

displaydari tegangan atau arus dari meter digital berupa angka tanpa harus membaca dariskala meter. Sakelar pemindah frekuensi pada pesawat HT juga merupakan angka digitaldalam bentuk digital.



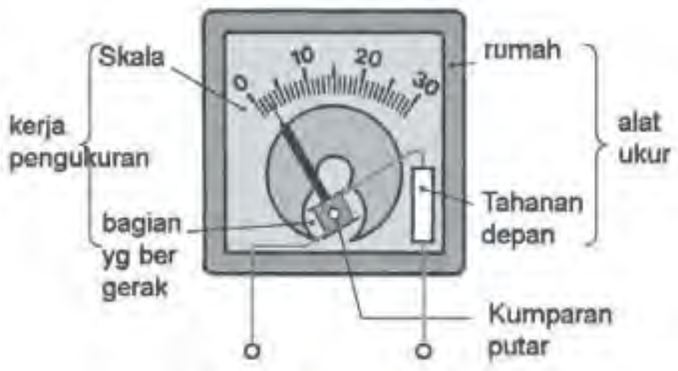
Gambar 6.2 Alat Ukur Analog dan Digital

Dilihat dari cara menentukan nilai ukurnya, maka alat ukur/uji listrik dibedakan menjadi dua, yaitu :

- Alat pengukur Analog (menggunakan jarum penunjuk), Pembacaan nilai ukurnya dilakukan dengan mengalikan penunjukan jarum dengan konstanta ukurnya. Misalnya jarum menunjukkan angka 12,5. Sedang konstanta ukurnya adalah 10 volt. Maka nilai ukurnya adalah 125 volt.
- Alat ukur Digital, pembacan nilai ukur dapat dilakukan secara langsung.

Alat Ukur Analog

Alat ukur listrik analog merupakan alatukur generasi awal dan sampai saat inimasih digunakan. Bagiannya banyakkomponen listrik dan mekanik yang salingberhubungan. Bagian listrik yang pentingadalah, magnet permanen, tahanan meter,dan kumparan putar. Bagian mekanikmeliputi jarum penunjuk, skala dan mur pengatur jarum penunjuk



Gambar 6.3 Konstruksi Alat Ukur Analog

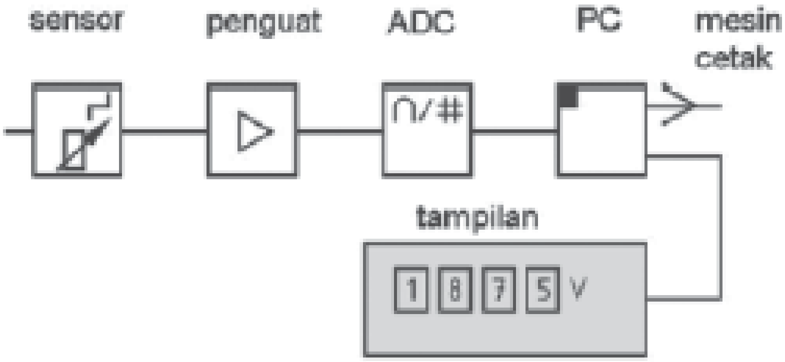
Alat ukur analog memiliki komponen putar yang akan bereaksi begitu mendapat sinyallistrik. Cara bereaksi jarum penunjuk ada yang menyimpang dulu baru menunjukkan angkapengukuran. Atau jarum penunjuk bergerak ke angka penunjukan perlahan-lahan tanpa adapenyimpangan. Untuk itu digunakan peredam mekanik berupa pegas yang terpasang pada poros jarum atau bilah sebagai penahan gerakan jarum berupa bilah dalam ruang udara. Pada meter dengan kelas industri baik dari jenis kumparan putar maupunjenis besi putar seperti meter yang dipasang pada panel meter banyak dipakai peredam jenis pegas.

Alat Ukur Digital

Alat ukur digital saat sekarang banyakdipakai dengan berbagai kelebihannya,murah, mudah dioperaikan, dan praktis.Multimeter digital mampu menampilkanbeberapa pengukuran untuk arus miliamper,temperatur °C, tegangan milivolt, resistansi ohm, frekuensi Hz, daya listrik mW sampaikapasitansi nF

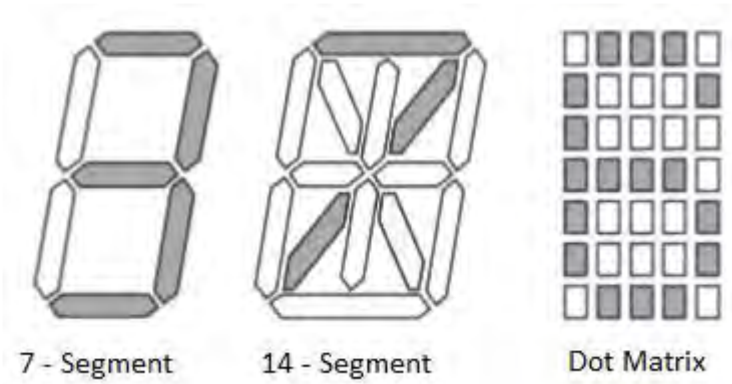
Pada dasarnya data /informasi yang akan diukur bersifat analog. Blok diagram alat ukur digital terdiri komponen sensor, penguat sinyal analog, analog to digital converter, mikroprosesor, alat cetak, dan display digital (Gambar 6.4).

Sensor mengubah besaran listrik dan non elektrik menjadi tegangan, karena tegangan masihdalam orde mV perlu diperkuat olehpenguat input.



Gambar 6.4 Prinsip Alat Ukur Digital

Sinyal input analog yang sudah diperkuat, dari sinyal analog diubah menjadi sinyal digitaldengan (ADC) analog to digital akan diolah oleh perangkat PC atau mikroprosessor denganprogram tertentu dan hasil pengolahan disimpan dalam sistem memori digital. Informasi digitalditampilkan dalam display atau dihubungkan dicetak dengan mesin cetak.Display digital akan menampilkan angka diskrit dari 0 sampai angka 9 ada tiga jenis,yaitu 7-segmen, 14-segmen dan dot matrik 5 x 7. Sinyal digital terdiri atas 0 dan 1, ketika sinyal 0 tidak bertegangan atau OFF, ketika sinyal 1 bertegangan atau ON.



Gambar 6.5 Tampilan Digital

Pengukuran langsung dan Tak Langsung

Dalam prakteknya, pengukuran besaran listrik untuk keperluan komersial, misalnya mengukur konsumsi energi listrik yang telah digunakan oleh konsumen (kWh-meter atau kVAr-meter) dapat dilakukan dalam dua cara, yaitu pengukuran langsung dan pengukuran tak langsung.

Pengukuran secara langsung diterapkan pada instalasi ketenagalistrikan tegangan rendah berskala kecil. Dalam hal ini alat pengukur yang digunakan langsung dihubungkan dengan beban secara langsung.

Pengukuran secara tak langsung diterapkan pada instalasi ketenaga-listrikan tegangan rendah/menengah berskala besar. Dalam hal ini alat pengukur yang digunakan dihubungkan dengan beban secara tidak langsung melainkan melalui trafo ukur yang terdiri dari trafo arus dan trafo tegangan. Untuk instalasi ketenagalistrikan tegangan rendah berskala besar biasanya hanya menggunakan trafo arus, sedang untuk instalasi ketenagalistrikan tegangan menengah/tinggi menggunakan trafo arus dan trafo tegangan.

Trafo Ukur

Trafo ukur adalah trafo yang didesain khusus untuk keperluan pengukuran listrik. Ada dua jenis trafo ukur, yaitu tarfo arus (CT) dan trafo tegangan (PT). Karena fungsinya hanya sebagai alat bantu dalam pengukuran maka tarfo ukur didesain dengan daya rendah misalnya untuk pemakaian khusus trafo arus 30 VA.

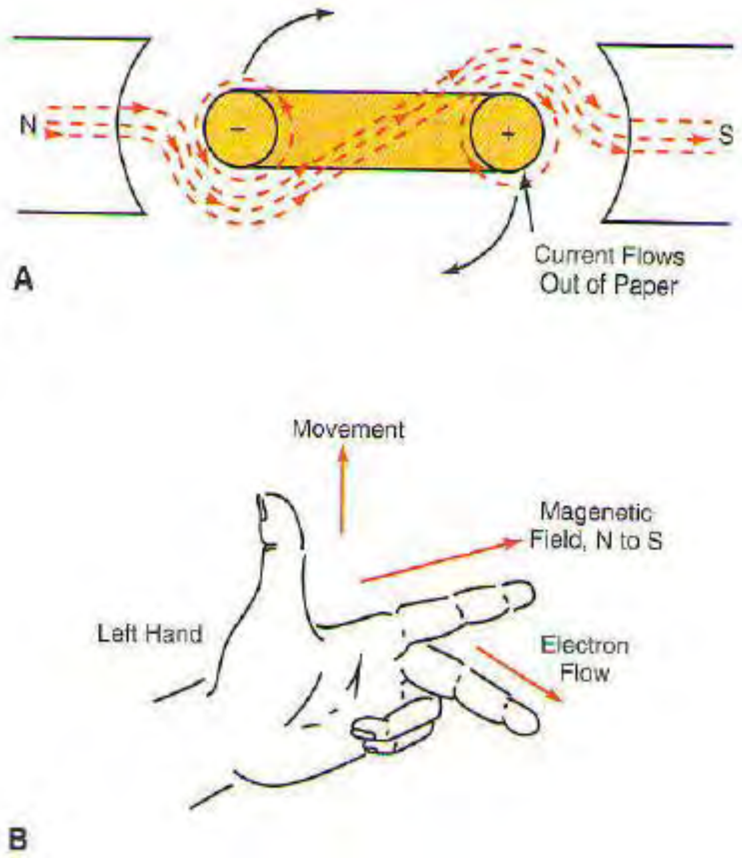
Sesuai SPLN 76-87, trafo arus (CT) harus memiliki arus primer mulai dari 10 A, 12,5 A, 15 A, 20 A, 25 A,30 A, 40 A, 50 A, 60 A, 75 A dan kelipatannya, sedang arus sekunder CT adalah 1A, 2 A dan 5 A. (kebanyakan 5 A).

Sesuai SPLN 77-87, trafo tegangan (PT) harus memiliki tegangan sekunder sebesar 100 V dengan daya sebesar 10, 15, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 dan 500 VA.

2. Meter Dasar PPMC dan Besi Putar

Pengukuran arus dan tegangan secara analog, menggunaan jarum penunjuk untuk menunjukkan nilai ukurnya. Gerakan dasar dari jarum penunjuk sistem D'arsonval diterapkan pada ampermeter dan voltmeter arus searah dan arus bolak-balik serta multimeter.

Dasar pergerakan jarum pada meter D'arsonval seperti motor arus searah magnet permanen, seperti diperlihatkan pada Gambar 6.6.



Gambar 6.6 Prinsip Pembangkitan Torsi Pada Motor DC

Fenomena alam menarik yang ditemukan oleh Lorentz adalah jika ada kawat penghantar bearus berada di dalam pengaruh medan magnet seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.6A, maka di kedua sisi kawat penghantar yang mendapat pengaruh medan magnet akan mendapat gaya tolak yang arahnya tergantung pada arah arus

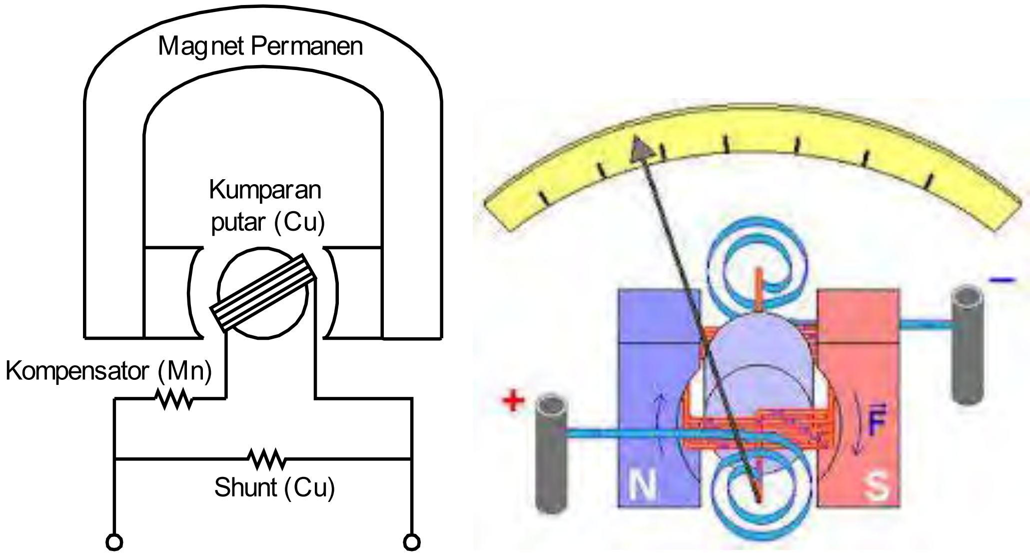
dan arah fluksi magnet yang mempengaruhinya. Selanjutnya gaya tolakan tersebut disebut gaya Lorentz. Sisi kawat penghantar yang berada pada sisi kutub utara (N) akan mendapat gaya ke atas, sedang kawat penghantar yang berada pada kutub selatan (S) mendapat gaya tolak yang mengarah ke bawah, sehingga kedua gaya tolakan tersebut menimbulkan torsi putar searah jarum jam. Hubungan antara arah listrik pada kawat penghantar, arah fluksi magnet dan arah gaya tolak dikemukakan oleh Flemming. Hubungan tersebut dikenal dengan sebutan huku Tangan Kiri Flemmig seperti diperlihatkan dalam gambar 6.6 B. Jika arah fluksi magnet sesuai dengan arah telunjuk tangan kiri, dan arah arus pada kawat penghantar searah dengan jari tengah, maka arah gaya tolak akan searah dengan ibu jari.

Lembar Kerja 2: Pengamatan

Amati pergerakan meter jarum pada meter dasar PPMC melalui demonstrasi yang dilalkukan oleh guru kalian. Kalian harus melakukan pengamatan dan mecatat hal-hal penting terkait dengan pergerakan jarum meter dasar PPMC. Kemudian lakukan inferensi secara berkelompok untuk menemukan pola dan hubungan serta prediksi berdasarkan sifat rangkaiannya. Dengan menjawab tiga pertanyaan mendasar, apa, bagaimana, dan mengapa terkait sifat fisik dan elektrik dari meter dasar PPMC yang diamatinya, dengan mengkaji berbagai sumber informasi, baik dari buku, dan internet. Kemudian presentasikan hasil kegiatan di depan kelas untuk mendapat tanggapan dari teman sekelasnya.

Meter Dasar PPMC

Meter dasar sistem D’Arsonval ini menggunakan magnet permanen dan kumparan putar. Oleh karena itu meter D’Arsonval lazim disebut pula sebagai Permanent Magnet Moving Coil (PMMC). Yang diperlihatkan pada Gambar 5.6. Gerakan jarum sistem D’Arsonval ini membutuhkan daya yang sangat rendah dan arus kecil untuk penyimpangan jarum pada skala penuh.



Gambar 6.7 Gambar skematik meter PPMC (D'Arsonval)

Persamaan untuk torsi yang menyebabkan jarum bergerak adalah:

T = B x A x I x N

Di mana

T = Torsi

B = Kerapatan fluksi magnet dalam Wb/m2

Idp = Arus di dalam kumparan putar dalam amper

N = Jumlah lilitan kumparan putar

Gambar 6.7 memperlihatkan konstruksi meter dasar kumparan putar (PPMC) yang disederhanakan untuk memudahkan memahami sistem mekanisasi pergerakan jarum meter. Pada poros kumparan putar diberi pegas lembut sedemikian sehingga agar jarum meter dapat kembal ke posisi semula setelah arus yang menyebabkan timbulnya torsi pada kumparan putar tidak ada.

Alat ukur PPMC diterapkan pada ampermeter, voltmeter dan ohmmeter. Alat ukur berbasis kumparan putar merupakan alat ukur presisi dengan ketelitian tinggi. Tingkat ketelitian alat ukur ditentukan oleh spesifikasi meter dasar PPMC.

Karakteristik meter dasar PPMC yang penting yang menentukan kelas ketelitiannyaadalah:

- Arus nominal meter dasar yang dinyatakan dalam mikroamper atau miliamper
- resistan dalam meter yang merupakan resistan dari kumparan putar yang dinyatakan dalam ohm.

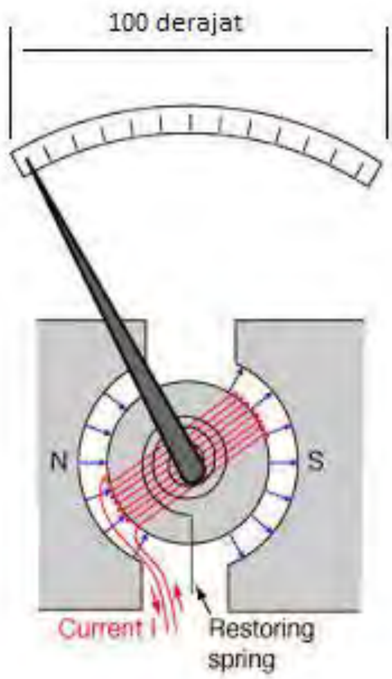
Berikut ini diberikan suatu contoh kasus sebuah alat ukur PPMC dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Koil kumparan putar terdiri dari 84 lilitan, dengan panjang = 1,5 cm, dan lebar koil = 1 cm dengan nilai resistan sebesar Rm = 88 ohm.
- Kerapatan fluksi magnet (B) = 0,2 Tesla (weber/m^2)
- arus nominal yang diijinkan mengalir melalui kumparan putar(Idp)=0,5 mA
- simpangan penuh jarum sebesar 100 derajad.

Analisa:

- Dengan ukuran koil yang memiliki panjang 1,5 cm dan lebar 1 cm, maka luas penampang koil (A) adalah 1,5 cm^2 atau 1,5 x 10^{-2} m^2.
- Dengan kerapatan fluksi sebesar 0,2 weber/m^2 dan jumlah lilitan koil kumparan putar (N) = 100 lilitan, dan nilai arus yang mengalir pada koil sebesar 0,5 mA (miliamper) atau 0,5x10^{-3} amper, maka nilai torsi yang diterima oleh koil kumparan putar (T) menurut formula torsi di atas adalah: (0,2 weber/m^2) (1,5x10^{-2} m^2)(0,5x10^{-3} amper) (100 lilitan) = 1,5x10^{-4} Nm (newtonmeter)

Jadi jika kumparan putar dialiri arus searah sebesar 0,5 mA, akan menerima torsi sebesar 1,5x10^{-4} Nm. Torsi sebesar ini yang akan membuat jarum meter melakukan gerakan putar. Karena mekanisasi jarum dibuat sedemikian sehingga pada arus sebesar 0,5 mA, maka jarum akan menyimpang sebesar 100 derajat. Seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.8.



Gambar 6.8 Pergerakan Jarum akibat Adanya Torsi

Tugas:

Setelah kalian mengetahui rahasia pergerakan jarum pada meter dasar PPMC. Tentunya kalian setuju, mengetahui karakteristik meter dasar PPMC menjadi sangat penting, khsususnya kalau kita ingin mengetahui ketelitian meter dasar tersebut. Untuk itu, agar kalian dapat lebih mendalami dan memperjelas masalah tersebut carilah informasi dari sumber-sumber informasi lain yang relevan terkait dengan karakteristik meter dasar PPMC. Kumpulkan tiga tipe meter dasar PPMC yang memiliki karakteristik berbeda. Buat laporan kegiatan dan presentasikan di kelas. Tugas ini diselesaikan secara kelompok.

Meter dasar PPMC yang belum dikalibrasi untuk mengukur besaran listrik tertentu, misalnya ampermeter, voltmeter, dan ohmmeter lazim disebut sebagai galvanometer. Galvanometer merupakan meter dasar dengan batas ukur yang sangat

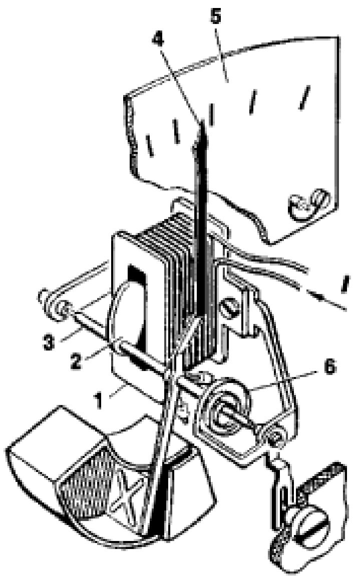
kecil biasanya dalam orde mikroamper. Lazimnya galvanometer memiliki angka nol ditengah, seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.9.



Gambar 6.9 Galvanometer

Alat Ukur Besi Putar

Alat ukur besi putar (moving iron) memiliki anatomi yang berbeda dengan kumparan putar. Seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.10.



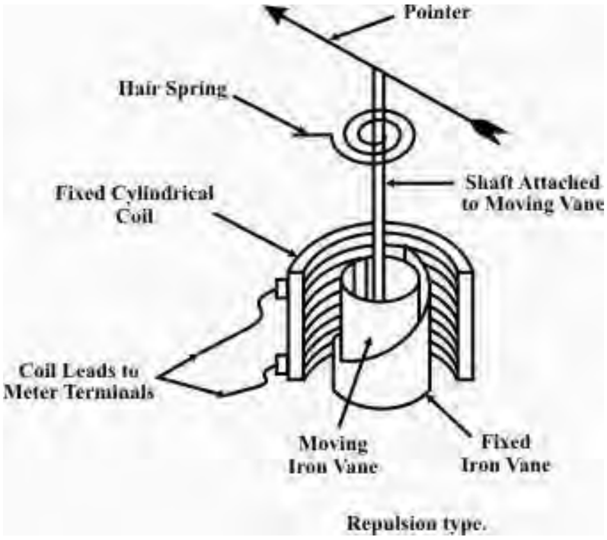
Gambar 6.10 Konstruksi Meter Besi Putar tipe Induksi

Konstruksi alat ukur besi putar terdiri atas enam bagian, yaitu (1) koil, (2) inti besi yang dapat berputar bebas pada poros, (3) poros, (4) jarum penunjuk, (5) skala ukur, dan (6) pegas. Alat ukur besi putar adalah alat ukur besaran listrik yang beroperasi

berdasarkan interaksi antara medan magnet listrik yang besarnya proporsional dengan arus yang melewati koil magnetnya dan inti besi (core) yang terbuat dari bahan feromagnetik. Elemen utama alat ukur besi putar adalah:

- Measuring circuit, yang mengubah besaran yang akan diukur,
- Measuring mechanism, yang terdiri dari sistem besi putar.

Arus listrik yang mengalir ke koil membangkitkan medan magnet yang akan menarik inti besi (core) yang dicekam oleh poros ke dalam koil. Torsi yang bankit pada inti besi proporsional dengan kuadrat arus yang masuk ke koil. Kemudian aksi ini diteruskan oleh poros dan pegas yang membangkitkan torsi lawan yang proporsional dengan sudut rotasi pada poros. Jika torsi dan torsi-lawan berinteraksi maka poros yang dilengkapi dengan jarum penunjuk akan berputar dalam lebar sudut tertentu yang proporsional dengan kuadrat besaran yang diukurnya. Jika torsi dan torsi lawan seimbang maka jarum akan kembali ke posisi semula.

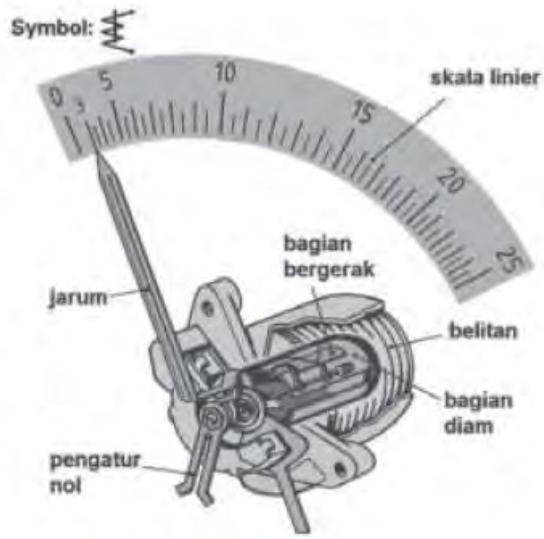


Gambar 6.11 Prinsip Besi Putar Tipe Repulsi

Alat ukur besi putar tipe repulsi diperlihatkan dalam Gambar 6.11. Meter ini terdiri dari dua vane silinder dari besi lunak yang terpasang pada koil magnet. Salah satu inti besi lunak terikat tetap pada rangka koil magnet dan inti besi lunak lainnya bebas berputar pada poros yang dilengkapi dengan jarum penunjuk. Kedua inti besi tersebut berada di dalam medan magnet yang dibangkitkan oleh koil magnet. Koil magnet untuk ampermeter terdiri dari kawat berukuran besar dengan sedikit lilitan.

Koil magnet untuk voltmeter terdiri dari kawat penghantar kecil dengan jumlah lilitan banyak.

Arus yang mengalir pada koil magnet menginduksi kedua tabung vane menjadi magnet dan gaya tolak (repulsi) antara dua magnet vane yang sama menghasilkan gerakan rotasi yang proporsional.Torsi yang dibangkitkan pada poros proporsional dengan kuadrat arus yang mengalir pada koil magnet.



Gambar 6.12 Konstruksi Besi Putar Tipe Repulsi

Gambar 6.21 memperlihatkan konstruksi sebuah meter besi putar tipe rupulsi. Ampermeter besi putar memiliki ketelitian rendah, lazimnya digunakan pada amperemeter panel, dan voltmeter panel

Alat ukur Digital dan Analog

Untuk keperluan pengukuran arus telah tersedia berbagai jenis ampermeter, untuk pengukuran arus searah dan arus bolak-balik, dan untuk keperluan pengukuran presisi dan untuk keperluan panel listrik. Berikut ini diberikan contoh berbagai jenis ampermeter yang tersedia di pasaran untuk berbagai keperluan. Baik yang beroperasi

secara analog, yakni menggunakan jarum penunjuk, dan yang beroperasi secara digital.

Gambar 6.13 memperlihatkan ampermeter analog standar dengan ketelitian tinggi, untuk mengukur arus searah dan arus bolak-balik. Ampermeter jenis ini dapat digunakan sebagai kalibrator. Sedang Gambar 6.14 memperlihatkan ampermeter analog sekunder dengan ketelitian rendah, untuk mengukur arus searah dan arus bolak-balik. Ampermeter jenis ini lazim digunakan pada panel listrik.



Gambar 6.13 Ampermeter Analog tipe Standard



Gambar 6.14 Ampermeter Analog, tipe Sekunder (Panel)



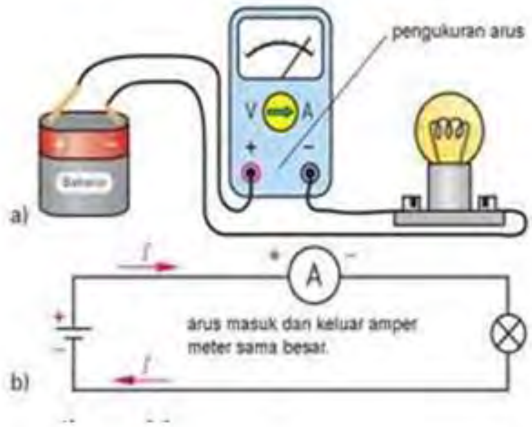
Gambar 6.15 Ampermeter Digital

Lembar Kerja 3: Kondisi Operasi Alat ukur Digital dan Analog

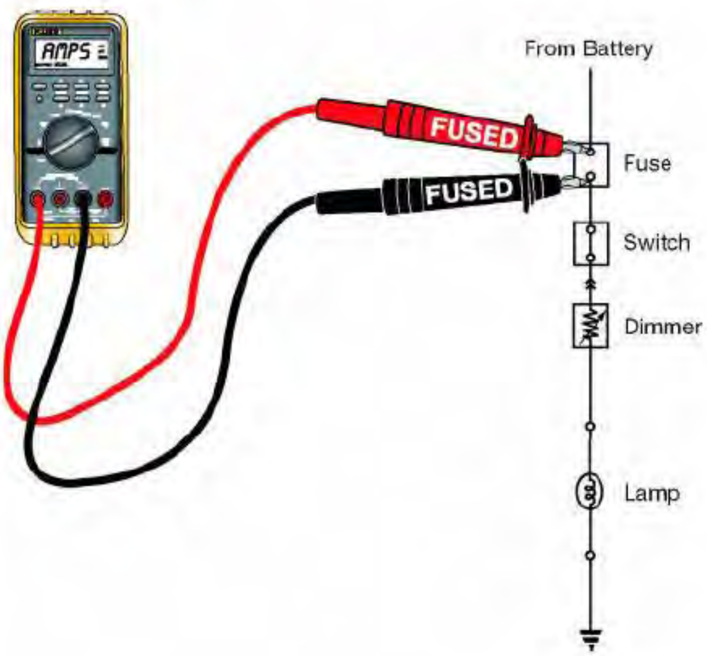
Pada tugas ini kalian harus mendeskripsikan spesifikasi ampermeter digital dan analog yang telah disediakan oleh guru. Untuj itu kalian harus mengumpulkan informasi dari berbagai sumber informasi. Kemudian melakukan inferensi secara berkelompok untuk menentukan spesifikasi alat ukur tersebut. Kemudian harus mempresentasikan hasil kegiatan belajarnya di depan kelas untuk mendapat tanggapan dari teman sekelasnya. Melalui aktivitas ini diharapkan kalian belajar secara faktual tentang meter listrik

3. Pengukuran Arus Searah

Pengukur arus listrik ampermeter memiliki keterbatasan untuk dapat mengukur arus, tahanan dalam meter Rm membatasi kemampuan batas ukur. Menaikkan batas ukur dilakukan denganmemasang tahanan paralel Rp denganampermeter. Tahanan Rpakan dialiri arus sebesar Ip, arus yangmelalui meter Rm sebesar Im.



Gambar 6.16 Prinsip Pengukuran Arus



Gambar 6.17 Prinsip Pengukuran Arus pada Rangkaian Listrik

Lembar Kerja 4: Pengukuran Arus dan Disain Ampermeter

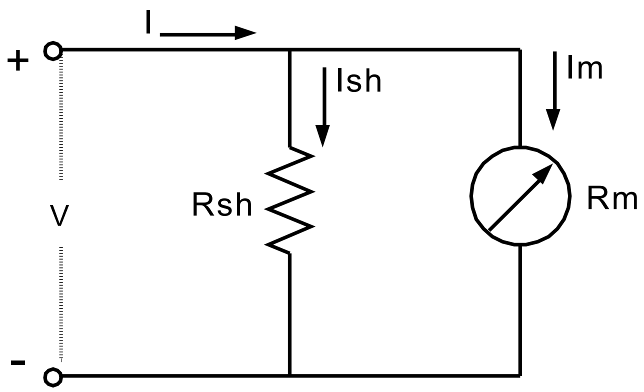
Melalui lembar kerja 4, kalian akan memperdalam tentang pengukuran arus listrik dan disain ampermeter, yang terdiri dari sebuah meter dasar PPMC, sebuah ampermeter DC, dan sebuah ampermeter DC dengan multi batas ukur. Dari ketiga

jenis meter listrik tersebut kaian harus menjawab pertanyaan apa?, bagaimana? dan mengapa? terkait dengan kondisi pengukuran arus listrik dan disain ampermeter. Untuk itu kalian harus mengumpulkan data melalui kegiatan studi literatur tentang bahan alat ukur yang diamatinya. Kemudian melakukan inferensi secara berkelompok untuk menemukan pola dan hubungan serta prediksi. Dengan menjawab tiga pertanyaan mendasar, apa, bagaimana, dan mengapa terkait dengan kondisi operasi alat ukur yang kalian amati, dengan mengkaji berbagai sumber informasi, baik dari buku, dan internet. Kemudian mempresentasikan hasil di depan kelas untuk mendapat tanggapan dari teman sekelasnya.

Desain Ampermeter

Bila sebuah meter D'Arsonval ditambah dengan sebuah tahanan paralel yang berfungsi sebagai tahanan shunt maka akan mengubah gerakan d'Arsonval menjadi sebuah ampermeter arus searah, seperti yang diperlihatkan pada gambar 6.18.

Bila arus yang akan diukur oleh ampermeter besar maka diperlukan sebuah tahanan untuk mengalirkan kelebihan arus tersebut sehingga arus yang mengalir ke kumparan putarnya tetap kecil. Tahanan tersebut dipasang paralel dengan kumparan putar dan disebut sebagai tahanan shunt atau Rsh. Jadi Rsh berfungsi mem-bypass sebagian besar arus I agar arus yang mengalir ke Rm tidak melebihi arus skala penuh Idp . Sebuah ampermeter arus searah mengukur arus dalam sebuah rangkaian arus searah dan dengan demikian dihubungkan seri terhadap komponen rangkaian.



Gambar 6.18 Rangkaian Dasar ampermeter DC

Batas ukur ampermeter (I) yang dibentuk dari meter d'Arsonval ini tergantung pada besarnya nilai tahanan pengali Rsh yang diformulasikan sebagai berikut,

Rsh = (Im x Rm) / (I – Im)

Contoh, bila meter dasar yang digunakan mempunyai data sebagai berikut,

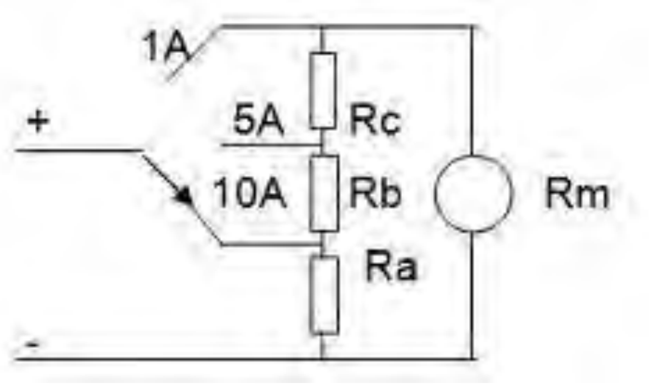
Rm = 100 ohm dan arus simpangan penuh Idp = 1 mA.

Meter tersebut akan dijadikan sebuah ampermeter dengan batas ukur arus searah I = 100 mA

maka nilai tahanan pengalinya adalah Rsh = 1,01ohm.

Tahanan shunt yang digunakan dalam sebuah alat ukur dasar dapat dibuat dari sebuah kawat tahanan bersuhu konstan yang ditempatkan di dalam alat ukur atau di luar alat ukut. Biasanya tahanan shunt ini berbentuk lempengan-lempengan bahan resistip yang disusun berjarak sama dan masing-masing ujungnya dilas ke sebuah batang tenbaga besar dan berat.

Ampermeter adalah instrumen untuk mengukur arus listrik. Tersedia dalam dua bentuk yaitu analog dan digital. Seperti halnya voltmeter, ampermeter juga mempunyai dua terminal. Untuk keperluan pengukuran arus listrik maka penyambungan ampertmeter dilakukan secara seri dengan beban yang diukurnya.

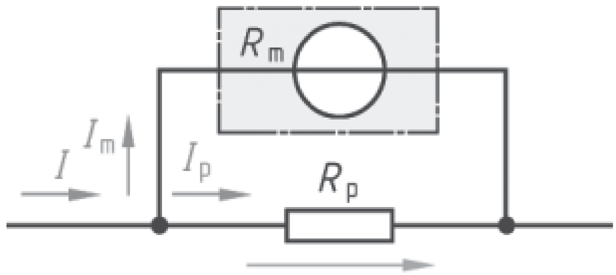


Gambar 6.19 Tahanan Shunt untuk Multi Batas Ukur

Tugas: Diskusikan dengan teman sekelompok, untuk menentukan Ra, Rb, dan Rc, bila diketahui meter dasar yang digunakan adalah Rm = 100 ohm dan arus simpangan penuh Idp = 1 mA.

Perubahan Batas Ukur

Untuk menaikkan tahanan dalam meter, didepan tahanan meter Rm seringkali ditambahkan dengan tahanan seri Rv. Sehingga tahanan dalam meter yang baru menjadi lebih besar, yaitu (Rm + Rv).Tahanan paralel Rp tetap dialiri arus Ip,sedangkan arus yang melewati (Rm + Rv)sebesar Im.



Gambar 6.20 Tahanan Shunt (Paralel)

Persamaan tahanan paralel Rp dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R_P = \frac{U}{I_P} = \frac{U}{I - I_m}$$

$$R_P = Rm\ x \frac{I_m}{I - I_m}$$

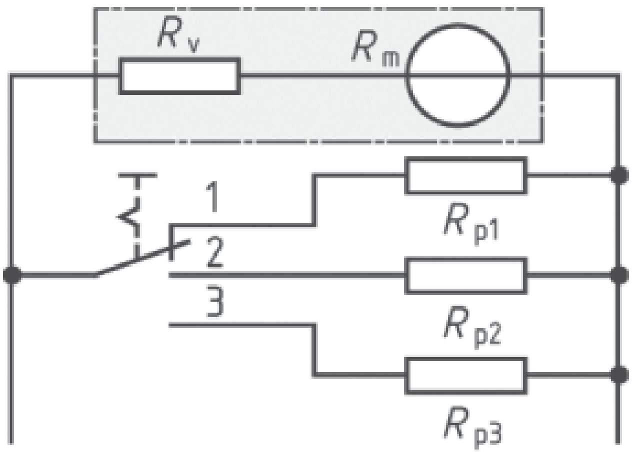
Contoh:

Ampermeter dengan tahanan dalam Rm = 100 Ω, arus yang diizinkan melewati meter Im = 0,6 mA. Ampermeter akan mengukur arus I = 6 mA. Hitung tahanan paralel Rp.

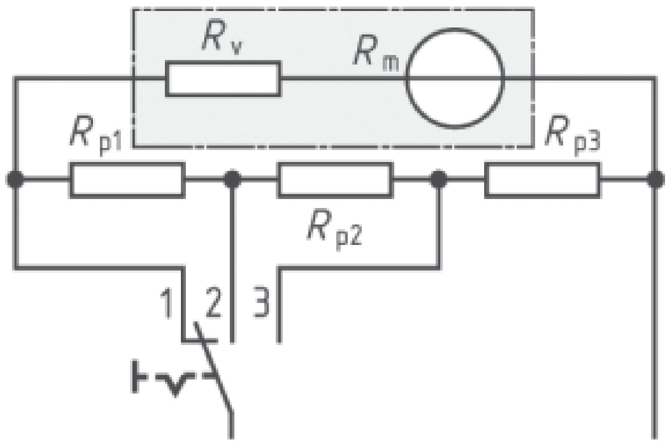
Jawaban:

$$R_P = R_m \ x \frac{I_m}{I - I_m} = 100\Omega \, x \frac{0,6A}{6mA - 0,6mA} = 11,1\,\Omega$$

Pada kenyataannya untuk meningkatkan efektifitas alat ukur khususnya dalam mendapatkan batas ukur yang lebar, lazimnya alat ukur didisain memiliki multi batas ukur, melalui sakelar pemilih batas ukur. Misalnya suatu ampermeter dengan tiga batas ukur, memiliki tiga jenis tahanan paralel. Sakelar pada posisi 1 untuk memperoleh batas ukur skala pertama. Sakelar pada posisi 2 dipakai tahanan paralel 2 untuk memperoleh batas ukur kedua. Dan Sakelar pada posisi 3, untuk memperoleh batas ukur ketiga. Gambar 5.19 memperlihatkan prinsip meter tersebut.

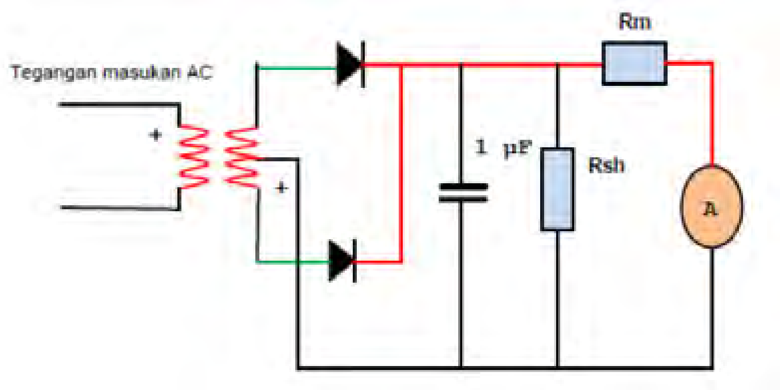


Gambar 6.21 Ampermeter dengan Tiga Batas Ukur



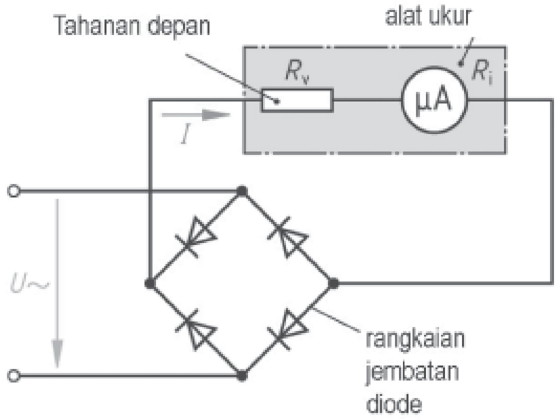
Gambar 6.22 Ampermeter dengan Tiga Batas Ukur Sistem Airtone

Pada kenyataannya, untuk memperoleh tiga batas ukur dapat pula diterapkan dengan metode Ayrtone, seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.22 Dengan metoda berbeda dengan tujuan memperluas batas ukur, dipakai tiga tahananparalel Rp1, Rp2, dan Rp3 yang ketiganya disambung seri. Sakelar posisi 1,tahanan (Rp1 + Rp2 + Rp3) paralel dengan rangkaian (Rv + Rm). Sakelar posisi 2, tahanan(Rp2 + Rp3) paralel dengan rangkaian (Rp1 + Rv + Rm). Saat sakelar posisi 3, tahanan Rp3paralel dengan rangkaian (Rp1 + Rp2 + Rv + Rm).



Gambar 6.23 Prinsip Ampermeter Arus Bolak-balik

Agar meter tersebut dapat digunakan untuk mengukur besaran listrik arus bolak-balik, maka perlu dipasang diode penyearah seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.24



Gambar 6.24 Prinsip Voltmeter Arus Bolak-balik

4. Pengukuran Tegangan

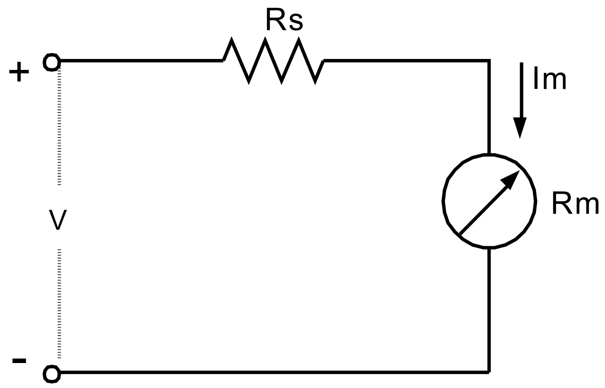
Seperti pada pengukuran arus, pengukuran tegangan listrik dengan voltmeter juga memiliki keterbatasan, tahanan dalam meter Rm membatasi kemampuan batas ukur tegangan. Menaikkan batas ukur tegangan dilakukan dengan memasang tahanan ser Rs pada meter dasar. Tahanan seri Rs akan dialiri arus sebesar Is, arus yang melalui meter Rm sebesar Im.

Lembar Kerja 5: Pengukuran Tegangan dan Disain Voltmeter

Melalui lembar kerja 5, kalian akan memperdalam tentang pengukuran tegangan listrik dan disain voltmeter, yang terdiri dari sebuah meter dasar PPMC, sebuah voltmeter DC, dan sebuah voltmeter DC dengan multi batas ukur. Dari ketiga jenis meter listrik tersebut kaian harus menjawab pertanyaan apa?, bagaimana? dan mengapa? terkait dengan kondisi pengukuran tegangan listrik dan disain voltmeter. Untuk itu kalian harus mengumpulkan data melalui kegiatan studi literatur tentang bahan alat ukur yang diamatinya. Kemudian melakukan inferensi secara berkelompok untuk menemukan pola dan hubungan serta prediksi. Dengan menjawab tiga pertanyaan mendasar, apa, bagaimana, dan mengapa terkait dengan kondisi operasi alat ukur yang kalian amati, dengan mengkaji berbagai sumber informasi, baik dari buku, dan internet. Kemudian mempresentasikan hasil di depan kelas untuk mendapat tanggapan dari teman sekelasnya.

Desain Voltmeter

Bila sebuah meter D'Arsonval ditambah dengan sebuah tahanan seri yang berfungsi sebagai tahanan pengali maka akan mengubah gerakan d'Arsonval menjadi sebuah voltmeter arus searah, seperti yang diperlihatkan pada gambar 6.25.



Gambar 6.25 Rangkaian Dasar Voltmeter Arus searah

Tahanan pengali Rs membatasi arus ke kumparan putar (Rm) agar tidak melebihi arus skala penuh Idp . Sebuah voltmeter arus searah mengukur beda potensial antara dua titik dalam sebuah rangkaian arus searah dan dengan demikian dihubungkan paralel terhadap sebuah sumber tegangan atau komponen rangkaian.

Batas ukur voltmeter (V) yang dibentuk dari meter d'Arsonval ini tergantung pada besarnya nilai tahanan pengali Rs yang diformulasikan sebagai berikut,

$$Rs = (V / Im) - Rm$$

Contoh, bila meter dasar yang digunakan mempunyai data sebagai berikut,
Rm = 100 ohm dan arus simpangan penuh Idp = 1 mA.
Meter tersebut akan dijadikan sebuah voltmeter dengan batas ukur tegangan searah
V = 10 volt,
maka nilai tahanan pengalinya adalah Rs = 9900 ohm.

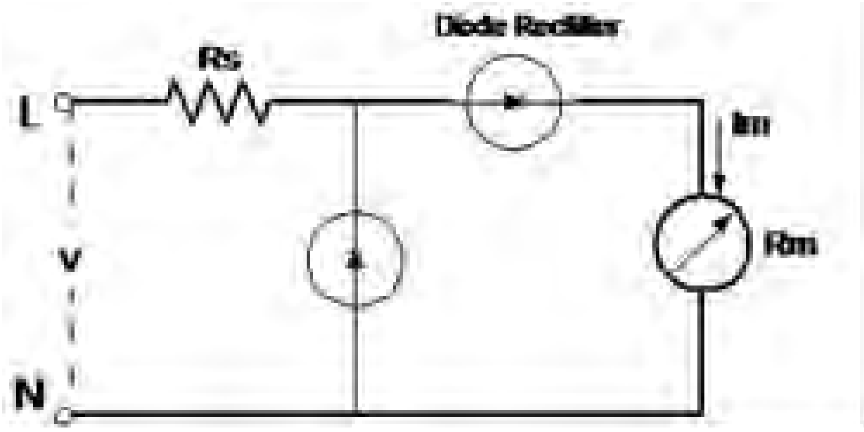


Gambar 6.26 Voltmeter Standard Multi Batas Ukur



Gambar 6.27 Voltmeter Panel

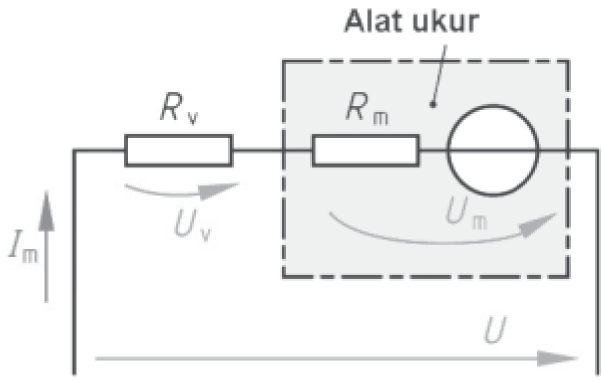
Bila voltmeter arus searah tersebut ditambah dengan sebuah rangkaian penyearah (rectifier) yang mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah, maka meter tersebut dapat digunakan untuk mengukur tegangan bolak-balik. Jadi masalah pengukuran arus bolak-balik diperoleh dengan menggunakan sebuah rangkaian penyearah baik secara half wave hanya menggunakan satu buah diode penyearah maupun full wafe dengan menggunakan empat diode dalam rangkaian jembatan. Gambar 6.28 memperlihatkan skematik voltmeter arus bolak-balik yang menggunakan sebuah diode



Gambar 6.28 Skematik Voltmeter Arus Bolak-Balik

Pengukuran Tegangan Searah

Pengukur tegangan voltmeter memilikitahanan meter Rm. Tahanan dalammeter juga menunjukkan kepekaan meter, disebut Ifsd (full scale deflection) arus yang diperlukan untuk menggerakkan jarum meter pada skala penuh. Untuk menaikkan batas ukur voltmeterharus dipasang tahanan seri sebesar RV.

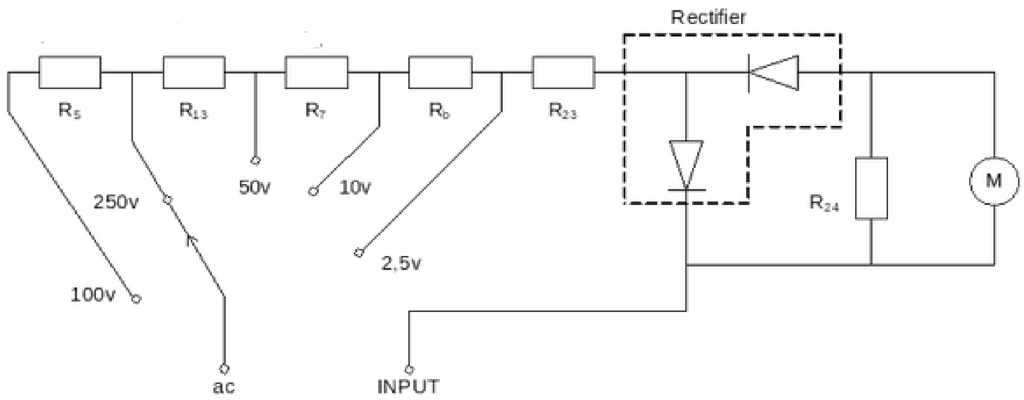


Gambar 6.29 Rangkaian Dasar Voltmeter

Persamaan tahanan seri meter R_V:

$$R_V = \frac{U_V}{I_m} = \frac{U - U_m}{I_m}$$

Gambar 6.30 memperlihatkan rangkaian dasar voltmeter arus bolak-balik, dengan lima batas ukur.



Gambar 6.30 Rangkaian Dasar Volmeter Arus Bolak-balik

Contoh:

Pengukur tegangan voltmeter memiliki arus meter 0,6 mA dan tegangan meter 0,3V. Voltmeter akan digunakan untuk mengukur tegangan 1,5 V. Hitung besarnya tahanan seri meter Rv.

Jawaban:

$$R_V = \frac{U_V}{I_m} = \frac{U - U_m}{I_m} = \frac{1{,}5V - 0{,}3V}{0{,}6mA} = 2k\Omega$$

Bila voltmeter tersebut diinginkan mempunyai batas ukur 10 VAC, maka nilai tahanan pengalinya dapat ditentukan sebagai berikut:

Asumsikan nilai tahanan diode arah maju Rd = 400 ohm dan akibat adanya diode rectifier kita dapatkan nilai tegangan searah sebesar:

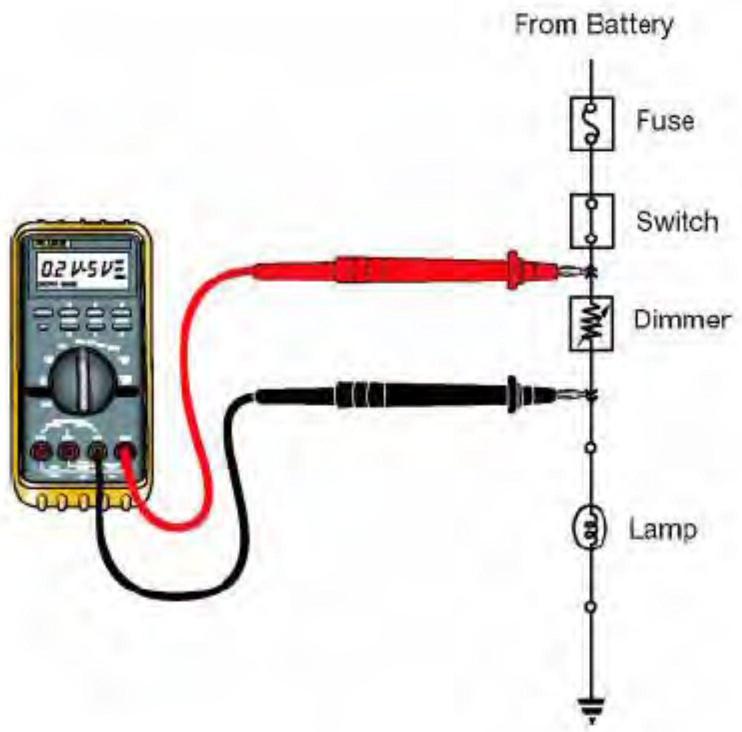
Edc = 0,45 x 10 VAC = 4,5 VDC

Rt = Edc / Im = 4,5 V / 1 mA = 4500 ohm

Jadi nilai tahanan pengali Rs adalah

Rs = Rt – Rd – Rm = 4500 – 400 – 100 = 4000 ohm.

Voltmeter adalah instrumen untuk mengukur tegangan listrik. Tersedia dalam dua bentuk yaitu analog dan digital. Alat ukur ini mempunyai dua terminal. Untuk keperluan pengukuran tegangan listrik maka penyambungan voltmeter dilakukan secara parallel dengan beban yang diukurnya.



Gambar 6.31 Pengukuran Tegangan pada Rangkaian Listrik

KEGIATAN BELAJAR 7

Menentukan Kondisi Operasi Pengukuran Daya, Energi dan Faktor Daya Listrik

1. Pengukuran Daya Listrik

Untuk memahami kondisi operasi pengukuran daya listrik. Kegiatan belajar dimulai dengan melakukan pengamatan pengukuran daya listrik yang didemonstrasikan oleh guru.

Lembar Kerja 1: Kondisi Operasi Pengukuran Daya Satu Fasa

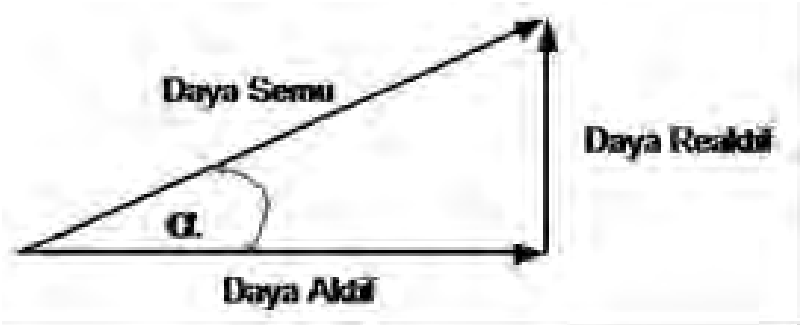
Melalui lembar kerja 1 kalian harus melakukan pengamatan untuk mengkaji rangkaian pengukuran daya satu fasa dengan wattmeter, ampermeter dan voltmter dengan beban lampu pijar dan TL yang telah disiapkan oleh guru. Kalian harus melakukan pengamatan dan mengumpulkan data melalui kegiatan mengamati penunjukkan ampermeter, voltmeter, dan wattmeter dari dua eksperimen yang telah disiapkan oleh guru, yang terdiri dari papan eksperimen meliputi sbuah ampermeter AC dengan batas ukur minimal 2 amper, sebuah voltmeter AC batas ukur minimal 250V, sebuah wattmeter AC dengan batas ukur arus 5 amper dan tegangan 250V, lampu pijar 20 watt/220V, lampu TL 40 watt/220V, dan kabel jumper. Untuk itu kalian harus membuat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran, kemudian bandingkan hasil pengukurannnya dan berikan komentarmu atas perbedaan yang terjadi.

1.1. Pengukuran Daya Listrik Satu Fasa

Pengukuran daya pada sistem arus balik dibedakan menjadi tiga janis daya, yaitu

- Daya semu (S) yang diukur dalam satuan VA atau kVA
- Daya Aktif (P) yang diukur dalam satuan watt atau kW
- Daya Reaktif (Q) yang diukur dalam satuan VAR atau kVAR

Hubungan antara ketiga daya tersebut dapat dijelaskan dengan mudah melalui segitiga daya, sebagai berikut



Gambar 7.1 Diagram Segitiga Daya

Sesuai dengan Hukum Pitagoras, maka hubungan ketiga daya tersebut secara matematis dapat ditentukan sebagai berikut:

Cos α = Daya Aktif / Daya Semu

Sin α = Daya Reaktif / Daya Semu

Dari dua persamaan di atas dapat kita ubah menjadi :

Daya Aktif = Daya semu x Cos α

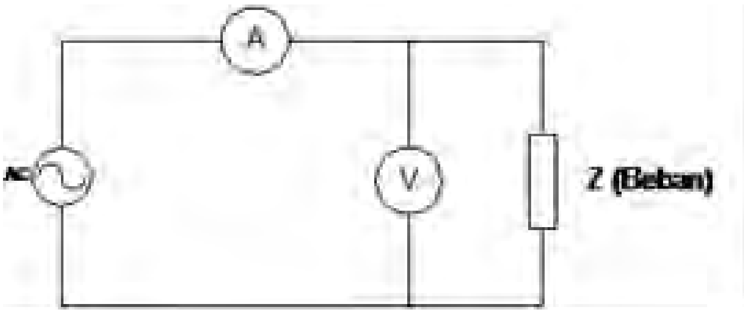
Daya Semu = Daya Aktif / Cos α

Daya Reaktif = Daya Semu x Sin α

Jadi, jika dua parameter diketahui maka parameter lainnya dapat ditentukan. Bila daya semu diketahui dan besar beda fasa antara daya aktif dan daya semu diketahui maka nilai daya aktifnya dapat ditentukan. Sebagai contoh, diketahui daya semu S = 50 kVA, dan sudut beda fasanya 60 derajad busur, maka daya aktif P = 50 kVA x cos 60^0 = 25 kW

Contoh lain, diketahui daya semu S = 50 kVA, dan Daya Aktif P = 25 kW, maka daya reaktif kVAr

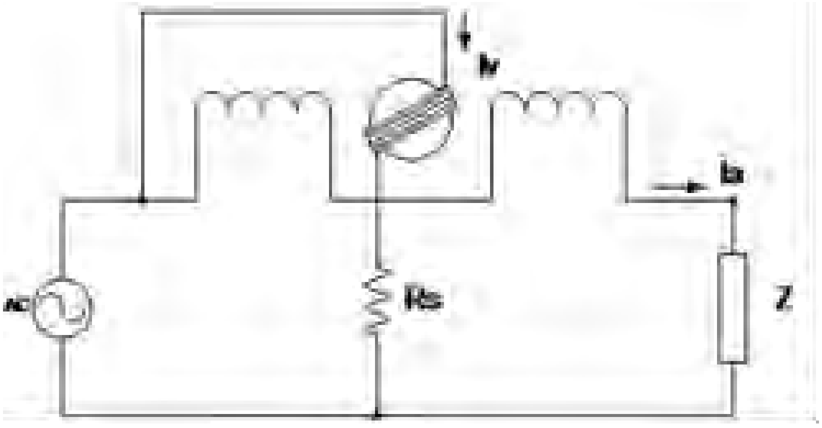
Pengukuran daya semu (Q) dapat dengan mudah dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus yang ada pada suatu rangkaian arus bolak-balik seperti diperlihatkan pada gambar 7.2.



Gambar 7.2 Rangkaian Pengukuran Daya Semu (S) Langsung

Desain Wattmeter

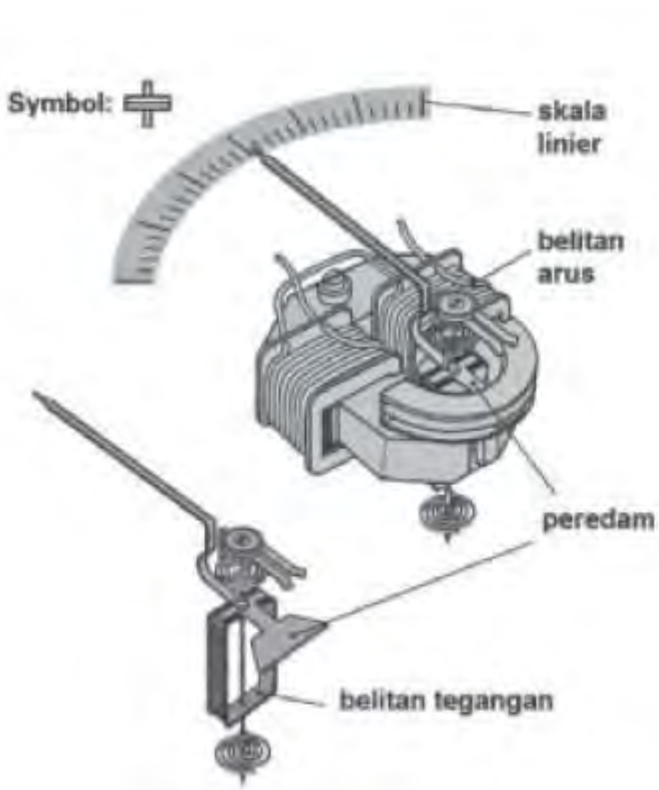
Wattmeter adalah instrumen untuk mengukur daya aktif. Tersedia dalam dua bentuk yaitu analog dan digital. Daya aktif merupakan perkalian antara daya semu (S) yaitu perkalian tegangan (V) dan arus (I) dan factor daya (Cos α). Oleh karena itu wattmeter mempunyai dua kumparan, yaitu kumparan putar untuk mendeteksi nilai tegangan dan kumparan statis untuk mendeteksi nilai arus yang diukur. Konstruksi Wattmeter seperti tersebut lazim disebut sebagai wattmeter tipe elektrodinamis atau elektrodinamometer. Prinsip bergeraknya jarum berdasarkan prinsip berputarnya motor listrik. Gambar 7.3 memperlihatkan skematik diagram watt meter elektrodinamis.



Gambar 7.3 Diagram Skematik Wattmeter Elektrodinamis

Dalam gambar 5.34 dapat dilihat bahwa kumparan putar dipasang paralel dengan beban sehingga berfungsi sebagai kumparan tegangan dan kumparan tetap dipasang seri dengan beban sehingga ia berfungsi sebagai kumparan arus. Skala pembacaan dikalibrasi dalam satuan watt atau kW.

Wattmeter elektrodinamis ini termasuk alat ukur presisi dan dapat digunakan pada jaringan arus searah dan arus bolak-balik.

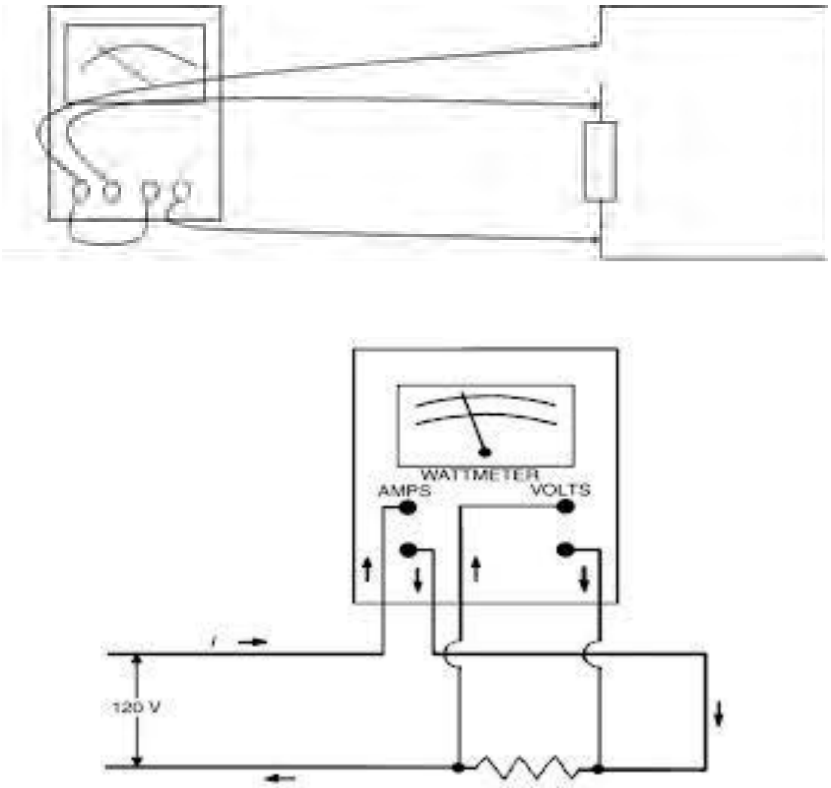


Gambar 7.4 Konstruksi Elektrodinamis

Alat ukur elektrodinamis memiliki dua jenisbelitan kawat, yaitu belitan kawat arus yangdipasang, dan belitan kawat tegangansebagai kumparan putar terhubung denganporos dan jarum penunjuk (Gambar 5.35).Interaksi medan magnet belitan arus danbelitan tegangan menghasilkan sudutpenyimpangan jarum penunjuk sebandingdengan daya yang dipakai beban:

$P = V \cdot I \cdot \cos \theta$

Pemakaian alat ukur elektrodinamik sebagai pengukur daya listrik atauwattmeter.Untuk keperluan pengukuran daya listrik maka penyambungan wattmeter dilakukan sebagai berikut:



Gambar 7.5 Rangkaian Pengukuran Daya Aktif dengan Wattmeter

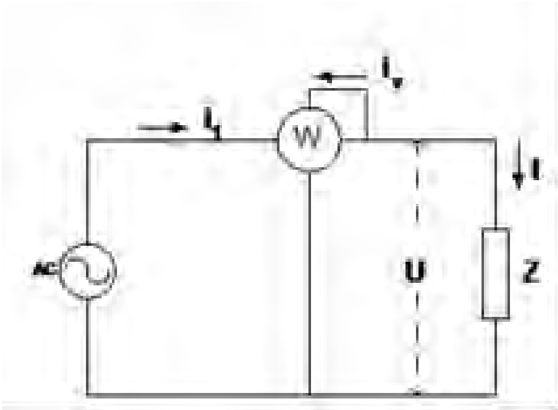


Gambar 7.6 Wattmeter Standard

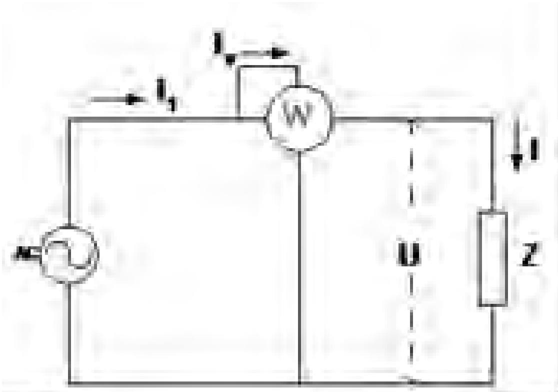
Mengenal Kesalahan Ukur pada Pengukuran Daya dengan Wattmeter

Wattmeter elektrodinamis memiliki sepasang kumparan, yaitu kumparan arus dan kumparan tegangan. Cara penyambungan kedua kumparan tersebut akan

menentukan nilai kesalahan ukur yang akan diperoleh. Untuk jelasnya perhatikan cara penyambungan wattmeter yang diperlihatkan pada gambar 7.7a dan 7.7.b.



(a)



(b)

Gambar 7.7 Penyambungan Wattmeter elektrodinamis

Pada Gambar 7.7a, kumparan arus mendeteksi arus beban I + Iv , dan kumparan tegangannya mendeteksi tegangan beban U. Akibatnya daya yang diukur wattmeter merupakan daya beban ditambah daya disipasi kumparan tegangan. Oleh karena itu cara ini sesuai untuk pengukuran arus besar.

pada gambar 7.7.b, kumparan arus beban I , dan kumparan tegangannya mendeteksi tegangan beban U + Ua . Akibatnya daya yang diukur wattmeter merupakan daya

beban ditambah daya disipasi kumparan arus. Oleh karena itu cara ini sesuai untuk pengukuran arus kecil.

Lembar Kerja 2: Kondisi Operasi Pengukuran Daya Tiga Fasa

Melalui lembar kerja 2 ini kalian harus melakukan pengamatan untuk mengkaji rangkaian pengukuran daya tiga fasa dengan dengan beban tiga buah lampu pijar yang telah disiapkan oleh guru. Terdiri dari tiga percobaan atau eksperimen, yaitu:. Eksperimen 1 : Pengukuran daya sistem tiga fasa dengan satu wattmeter, eksperimen 2: Pengukuran daya tiga fasa dengan dua wattmeter, dan eksperimen 3: Pengukuran daya tiga fasa dengan tiga wattmeter. Untuk itu kalian harus membuat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran, kemudian bandingkan hasil pengukurannnya dan berikan komentarmu atas perbedaan yang terjadi. Diskusikan dengan teman sekelompk hasil pengamatan kalian dan presentasikan di kelas.

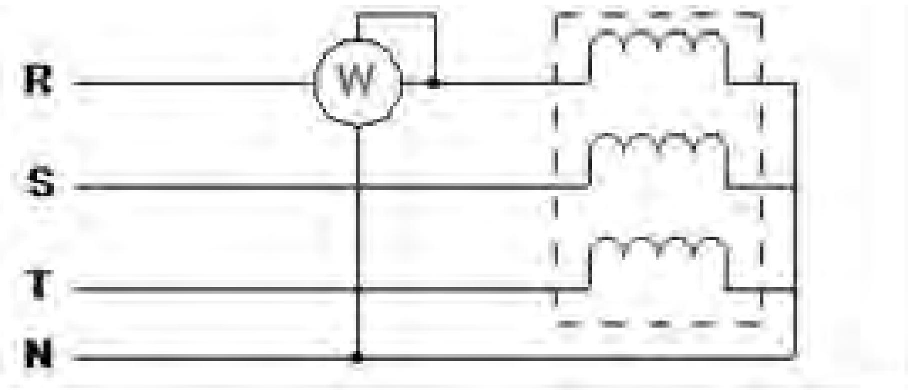
1.2. Pengukuran Daya Sistem Tiga Fasa

Sejauh ini kita baru membahas sistem pengukuran arus, tegangan dan daya pada sistem satu fasa. Berikut ini akan dibahas pengukuran daya pada sistem jala-jala tiga fasa. Pada sistem distribusi daya tiga fasa maka dikenal sistem tiga fasa dengan beban seimbang dan sistem distribusi daya dengan beban tak seimbang. Jenis beban ini akan menentukan cara melakukan pengukuran daya pada sistem tiga fasa.

Pengukuran Daya Tiga Fasa dengan Satu Wattmeter

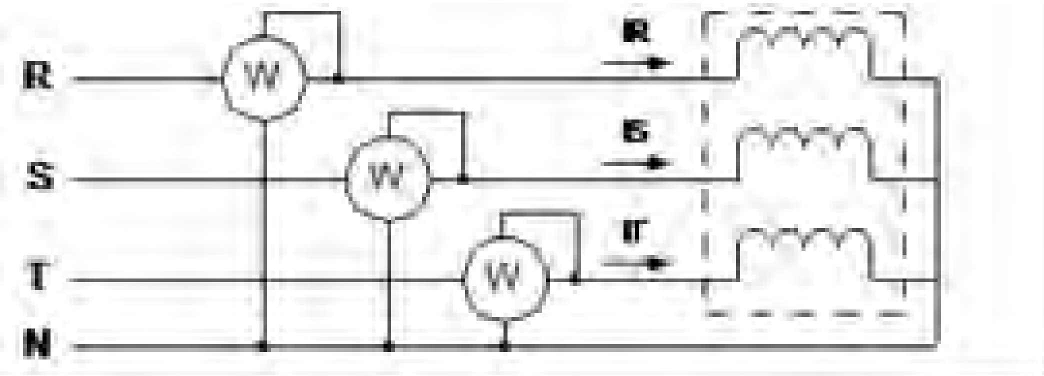
Pengukuran daya tiga fasa dengan satu wattmeter hanya dapat diterapkan bila beban tiga fasa dalam keadaan seimbang (simetris). Beban tiga fasa dikatakan seimbang bila arus yang mengalir pada setiap fasanya sama, dengan demikian daya yang dipikul oleh setiap fasanya sama. Sehingga daya totalnya adalah tiga kali daya masing-masing fasa.

Misalkan wattmeter pada gambar 7.8 menunjukkan nilai 1500 watt (1,5 kW) maka daya tiga fasanya adalah 3 x 1,5 kW = 4,5 kW.



Gambar 7.8 Pengukuran Daya Tiga Fasa dengan Satu Wattmeter

Pengukuran Daya Tiga Fasa dengan Tiga Wattmeter

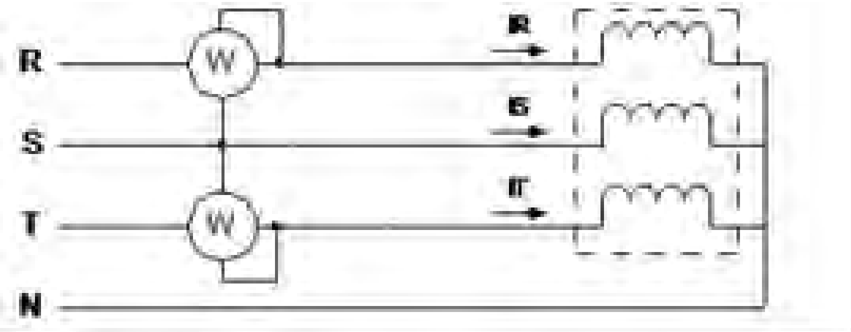


Gambar 7.9 Pengukuran Daya Tiga Fasa dengan Tiga Wattmeter

Pengukuran daya tiga fasa dengan tiga wattmeter hanya diterapkan bila beban tiga fasa dalam keadaan tak seimbang (asimetris). Beban tiga fasa dikatakan tak seimbang bila arus yang mengalir pada setiap fasanya tidak sama, dengan demikian daya yang dipikul oleh setiap fasanya juga tidak sama. Sehingga daya totalnya adalah penjumlahan daya masing-masing fasa.

Misalkan wattmeter pertama pada gambar 5.40 menunjukkan nilai 1500 watt (1,5 kW), wattmeter kedua menunukkan nilai 2 kW dan wattmeter ketiga menunjukkan nilai 1,2 kW, maka daya tiga fasanya adalah 3,7 kW.

Pengukuran Daya Tiga Fasa dengan Dua Wattmeter



Gambar 7.10 Pengukuran Daya Tiga Fasa dengan Dua Wattmeter

Pengukuran daya tiga fasa dengan dua wattmeter hanya diterapkan bila beban tiga fasa dalam keadaan tak seimbang (asimetris). Tetapi karena alasan ekonomis maka pengukuran daya tiga fasa tak simetris dapat dilakukan dengan mengunakan dua wattmeter. Pada cara dua wattmeter ini saluran netral tidak digunakan. Selanjutnya nilai daya aktif tiga fasanya didapat dengan menjumlahkan penunjukkan kedua wattmeter tersebut.

Kelebihan lain cara pengukuran daya tiga fasa dengan dua wattmeter adalah, dengan penunjukkan kedua wattmeter tersebut dapat digunakan juga untuk menentukan daya semu dan daya reaktif serta sudut geseran fasanya sekaligus, yaitu sebagai berikut:

Misalkan wattmeter pertama pada gambar 7.10 menunjukkan nilai 2,5 kW, wattmeter kedua menunjukkan nilai 2 kW, maka daya aktif tiga fasa

P = 2,8 kW + 1,7 kW = 4,5 kW.

daya reaktif tiga fasa

$Q = \sqrt{3} \times (W1 - W2) = 1{,}9$ kVAR

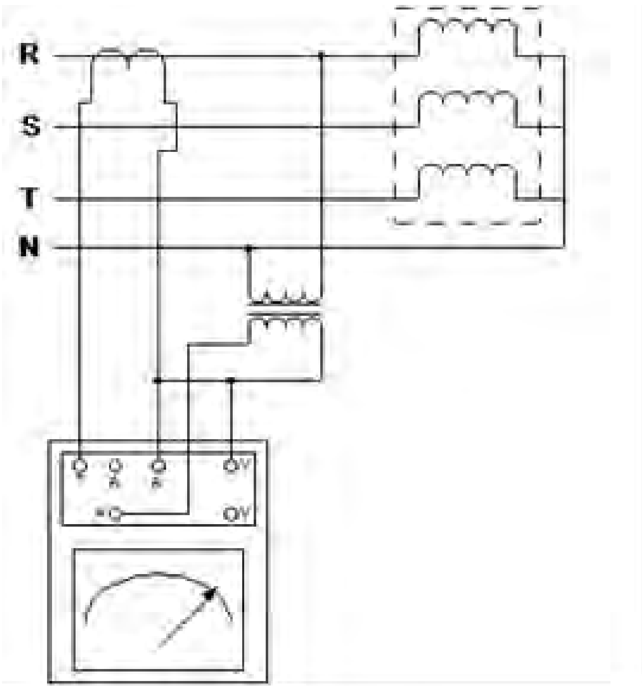
Daya semu tiga fasa

S = P + JQ = 4,5 + j 1,9 = 4,9 kVA

Sudut φ = arc tg. (P / S) = arc. tg. (4,5 / 4,9) = 47,30.

Penyambungan Wattmeter secara Tak Langsung

Sampai sejauh ini yang kita lakukan adalah penyambungan meter baik ampermeter, voltmeter dan wattmeter secara langsung. Penyambungan meter secara langsung hanya dapat diterapkan pada beban rendah. Bagi beban tinggi di mana arus fasanya besar dan mungkin juga tegangan fasanya, maka dilakukan cara lain yaitu penyambungan meter secara tidak langsung. Penyambungan secar tidak langsung dilakukan dengan memanfaatkan trafo ukur yang terdiri dari trafo arus dan trafo tegangan seperti diperlihatkan dalam gambar 7.11.



Gambar 7.11 Pengukuran Daya Tiga Fasa dengan Satu Wattmeter secara Tidak Langsung

Trafo ukur merupakan piranti pembantu yang sangat vital dalam pengukuran secara tidak langsung. Dalam prakteknya trafo ukur telah distandarisasi, yaitu nilai sekunder

untuk trafo arus adalah 5 amper dan nilai sekunder untuk trafo tegangan adalah 100 volt. Sedangkan untuk nilai primernya tersedia dalam banyak harga untuk memenuhi berbagai kebutuhan jaringan distribusi tenaga listrik.

Dalam pengukuran secara tidak langsung, perlu memahami benar polaritas dari tarfo ukur yang digunakan. Kesalahan dalam menentukan polaritas dapat menyebabkan kegagalan dalam menentukan nilai pengukurannya.
Oleh karena perhatikan benar-benar polaritas trafo arus dan trafo tegangannya.

2. Pengukuran Konsumsi Energi Listrik

Instrumen untuk mengukur energi listrik lazim disebut sebagai energimeter. Instrumen tersebut juga dikenal dengan sebutan watt-hour meter (Wh-meter). Energimeter merupakan perangkat integrasi. Ada beberapa tipe energimeter. Dilihat dari sumber tegangannya dibedakan energimeter satu fasa dan energimeter tiga fasa. Pengukuran energilistrik menjadi sangat penting dalam dunia bisnis ketenagalistrikan. Energimeter merupakan instrumen yang paling banyak dipakai untuk mengukur konsumsi energi listrik pada suatu instalasi listrik domestik maupun komersial. Energi listrik diukur dalam satuan kilo watt-jam (kWh) dengan energimeter. Oleh karena itu energimeter juga lazim disebut sebagai kWh-meter.

Lembar Kerja 1: Kondisi Operasi Pengukuran konsumsi energi Listrik Satu Fasa

Melalui lembar kerja 1 ini kalian harus melakukan pengamatan untuk mengkaji rangkaian pengukuran konsumsi energi listrik satu fasa dengan energimeter yang telah disiapkan oleh guru. Secara berkelompok, kalian mengumpulkan data melalui kegiatan mengamati penunjukkan energimeter dari eksperimen yang telah disiapkan oleh guru. Eksperimen terdiri dari papan eksperimen meliputi sebuah energimeter satu fasa, lampu pijar 60 watt/220V dan kabel jumper. Diskusikan dengan teman sekelompk hasil pengamatan kalian dan presentasikan di kelas.

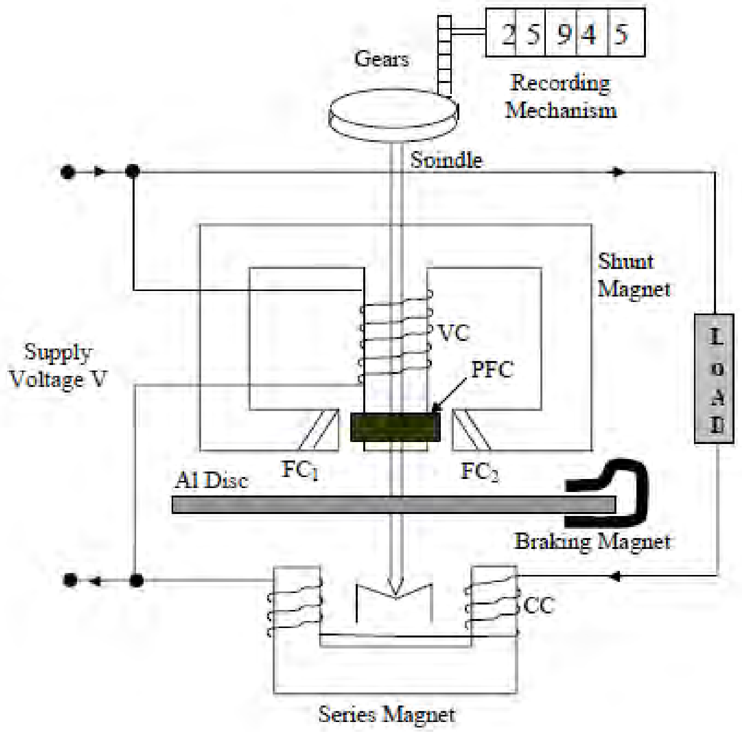
2.1. Pengukuran Konsumsi Energi Listrik Satu Fasa

Konstruksi sebuah energimeter untuk mengukur konsumsi energi pada instalasi listrik sistem satu fasa terdiri dari:

- Driving system
- Moving system
- Braking system, dan
- Registering system

Driving System

Driving system pada energimeter terdiri dari dua elektromagnetik dari baja silikon berlaminasi, shunt magnet dan series magnet seperti diperlihatkan dalam Gambar 7.12. Elektromagnetik M1 disebut series magnet dan elektromagnetik M2 disebut sebagai shnut magnet. Series magnet M1 mempunyai koil magnet yang terdiri dari beberapa lilitan kawat penghantar berdiameter lebih besar. Koil ini disebut sebagai koil arus atau current coil (CC) dan koil ini terhubung seri dalam rangkaian. Arus beban (load) mengalir melalui koil ini. Shunt magnet M2 mempunyai koil magnet yang terdiri dari banyak lilitan kawat penghantar berdiameter kecil. Koil ini disebut sebagai koil tegangan atau voltage coil (VC) dan koil tegangan ini terhubung paralel dengan sumber tegangan (supply voltage).



Gambar 7.12 Konstruksi Energimeter Satu Fasa

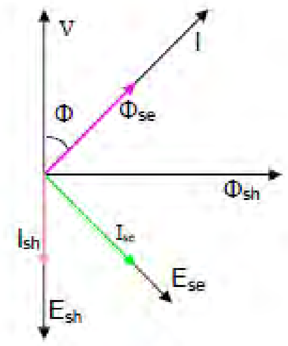
Jadi kWh-meter juga mempunyai 4 terminal dan cara penyambungannya sama seperti watt meter. Tetapi hanya berbeda di dalam konstanta ukurnya.

Pada bagian bawah inti shunt magnet dipasang kawat penghantar yang terhubung singkat (cooper band) yang disebut sebagai power factor compensator (PFC). Dengan mengatur posisi PFC maka flusi shunt magnet dapat dibuat tertinggal terhadap tegangan sumber sebesar 90^{o}. Kemudian pada shunt magnet dilengkapi juga dengan cooper shading yang terpasang di kedua kaki luar sunt magnet (FC1 dan FC2) yang berfungsi sebagai frictional compensation.

Moving System

Moving system adalah sistem mekanisasi pada energimeter yang terdiri dari piringan atau cakram tipis terbuat dari alumunium terpasang pada *spindle* dan diletakkan pada celah udara antara *series magnet dan shunt magnet*, sehingga akan diinduksikan *eddy current* pada piringan alumunium tersebut. Karena medan magnet yang dibangkitkan pada series magnet dan pada shunt magnet berbeda fasa 90 derajat,

maka akan dibangkitkan medan putar seperti halnya yang terjadi motor kutub bayangan (*shaded pole*) sehingga piringan berputar.



Gambar 7.13 Phasor Diagram Energimeter

Keterangan:

V = Tegangan sumber

I = arus beban tertinggal terhadap tegangan sumber

Cos Φ = faktor kerja beban (tertinggal)

Ish = Arus yang diakibatkan oleh Φsh dalam piringan

Ise = arus yang diakibatkan oleh Φse dalam piringan

.

Braking System

Braking system terdiri dari magnet permanen yang disebut sebagai rem magnet. Magnet permanen tersebut diletakkan di ujung piringan. Jika piringan berputar dalam medan magnet permanen akan diinduksikan eddy current. Eddy cuurent yang bangkit akan bereaksi dengan fluksi dan menghasilkan torsi yang melawan gerakan piringan. Torsi pengereman ini proporsional dengan kecepatan putar piringan.

Registering System

Spindle pada piringan terhubung pada mekanisasi pencacah mekanik. Mekanisasi pencacah (counter) mencatat nomor yang proporsional dengan jumlah putaran piringan. Pencacah dikalibrasi untuk menampilkan jumlah konsumsi energi listrik dalam satuan kili watt-hour (kWh).

Jumlah putaran piringan akan tercacat pada piranti pencacah mekanik. Kemudian jumlah putaran yang tercatat pada piranti pencacah mekanik dikalibrasi sebagai jumlah konsumsi energi yang telah terpakai. Konstanta ukur dalam kWh-meter adalah jumlah putaran piringan meter untuk menentukan nilai kWh-nya yang diberi simbol C. (Misalnya C = 1250 r/kWh).

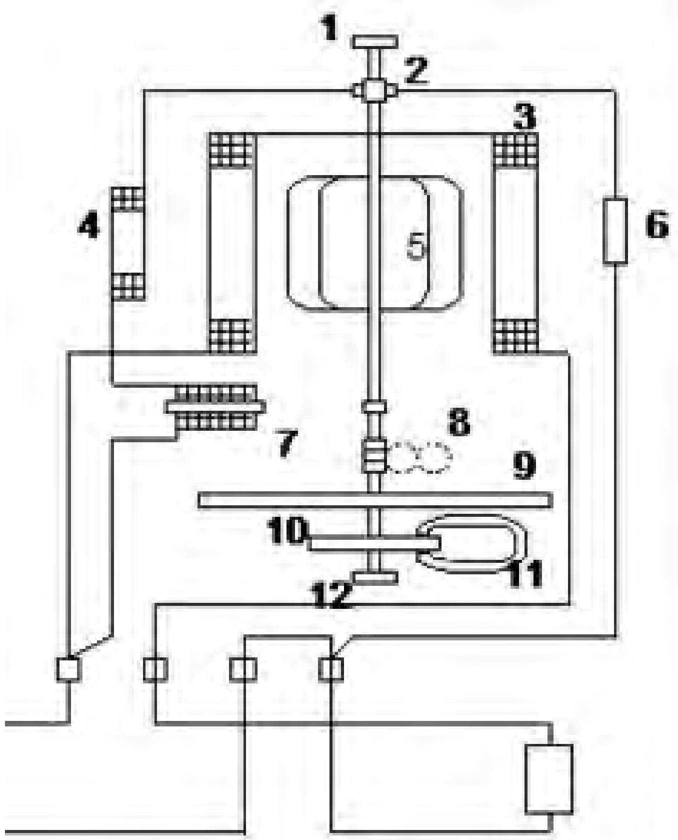
Contoh:

Sebuah kWh-meter yang terpasang pada instalasi listrik satu fasa untuk mencatat konsumsi energi yang telah terpakai selama enam menunjukkan piringan meter telah berputar sebanyak 1800 putaran. Jika konstanta energimeter tersebut 1250 rph/kWh, tentukan nilai energi listrik yang sudah terpakai selama enam jam.

Penyelesaian:

Jadi jumlah konsumsi energi selama enam jam adalah:

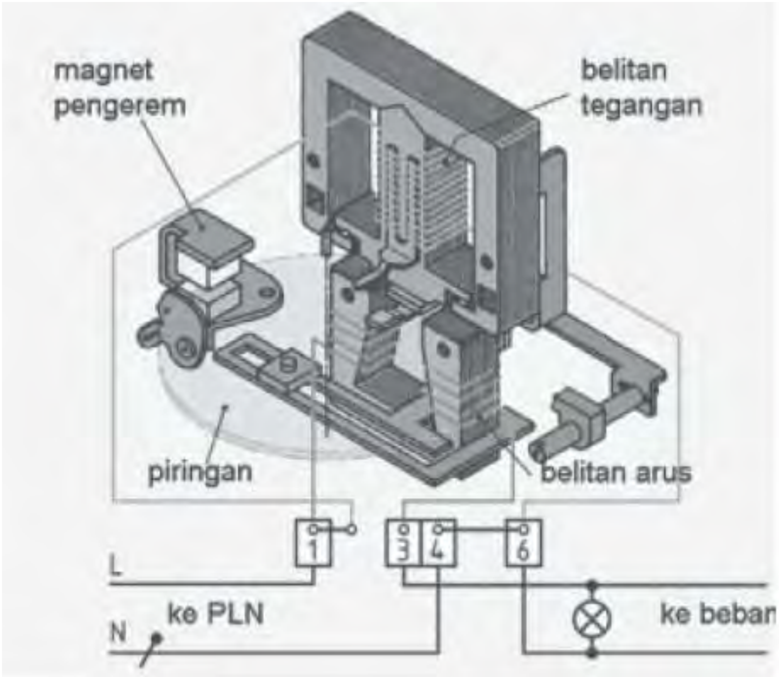
$$W = \frac{1800\, rph}{1200 \dfrac{rph}{kWh}} = 1{,}5\, kWh$$



Keterangan Gambar

1. Bantalan atas
2. Komutator dan sikat
3. Kumparan statis
4. Kumparan bantu
5. Kumparan putar
6. Tahanan seri
7. Anti arresting magnet
8. Mekanik Pencatat
9. Magnetic screening
10. Piringan putar
11. Rem magnet
12. Bantalan bawah

Gambar 7.14 Energimeter Tipe Elektrodinamis Satu Fasa





Gambar 7.15 Tipikal kWh-meter 1 Fasa

Lembar Kerja 2: Kondisi Operasi Pengukuran energi Listrik Tiga Fasa

Melalui lembar kerja 2 ini kalian harus melakukan pengamatan untuk mengkaji rangkaian pengukuran energi listrik satu fasa dengan energimeter yang telah disiapkan oleh guru. Secara berkelompok, kalian harus mengumpulkan data melalui kegiatan mengamati penunjukkan energimeter dari eksperimen yang telah disiapkan oleh guru. Eksperimen tersebut terdiri dari papan eksperimen meliputi sebuah energimeter tiga fasa, tiga lampu lampu pijar 60 watt/220V dan kabel jumper. Diskusikan dengan teman sekelompk hasil pengamatan kalian dan presentasikan di kelas.

2.2. Sistem Pengukuran Energi Listrik Tiga Fasa

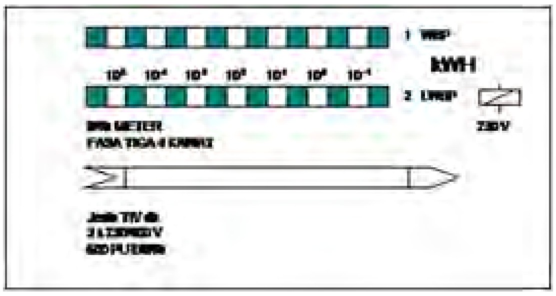
Pada gambar 7.16 diperlihatkan konstruksi kWh-meter tiga fasa dan pengawatannya. KWh-meter tiga fasa mempunyai sepuluh terminal. Torsi yang mengerakkan piringan putarnya merupakan penjumlahan torsi masing-masing fasa. Selanjutnya piringan putarnya menggerakkan mekanik pencatat, dan dikalibrasikan untuk menunjukkan energi total yang digunakan oleh jaringan sistem tiga fasa.

Untuk keperluan penentuan konsumsi energi yang telah digunakan pemakai, maka dibedakan kWh-meter tarif Tunggal dan kWh-meter tarif Ganda. kWh-meter tarif Ganda digunakan untuk mengukur energi (kAh) selama waktu Beban Puncak (WBP) dan selama waktu di-Luar Beban Puncak (LWBP). kWh-meter tarif Ganda mempunyai dua skala pembacaan yaitu untuk WBP dan LWBP. Untuk mengatur waktu beban ini digunakan sebuah time switch (rele waktu)

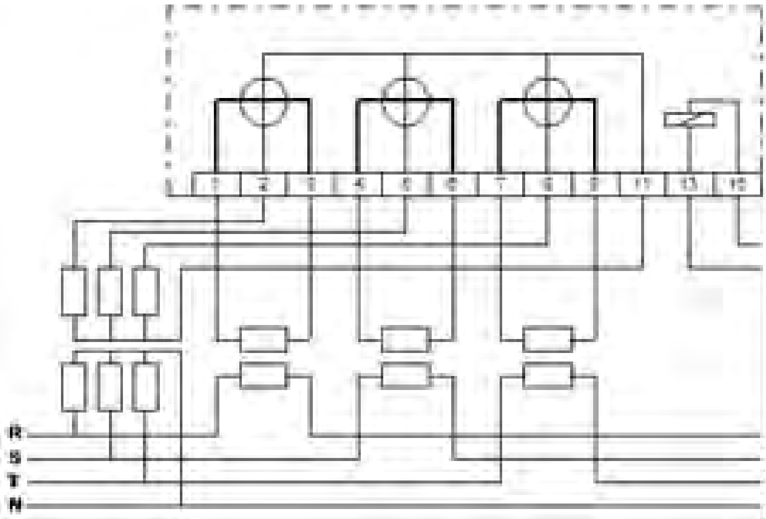
Untuk pengukuran konsumsi energi (kWh) pada sistem tiga fasa, dapat ditempuh dengan dua cara yaitu:

- menggunakan kWh-meter tiga fasa sistem 3 kawat
- menggunakan kWh-meter tiga fasa sistem 4 kawat

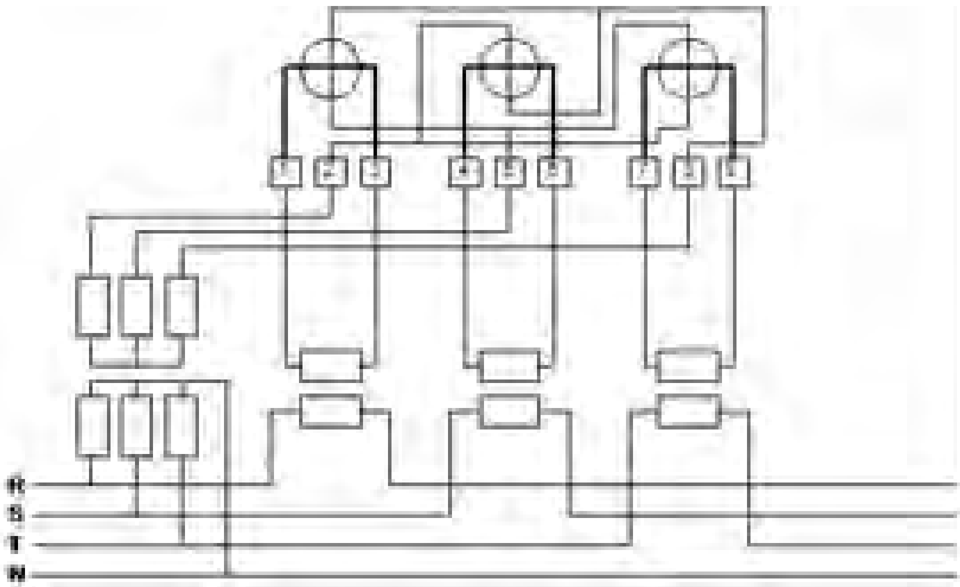
Berikut ini diberikan contoh pelat nama pada sebuah kWh meter tiga fasa, tarif ganda, buatan Indonesia.



Gambar 7.16 Pelat Nama kWh-meter Tiga Fasa, 4 kawat



Gambar 7.17 Pengawatan kWh-meter Tiga Fasa, 4 kawat



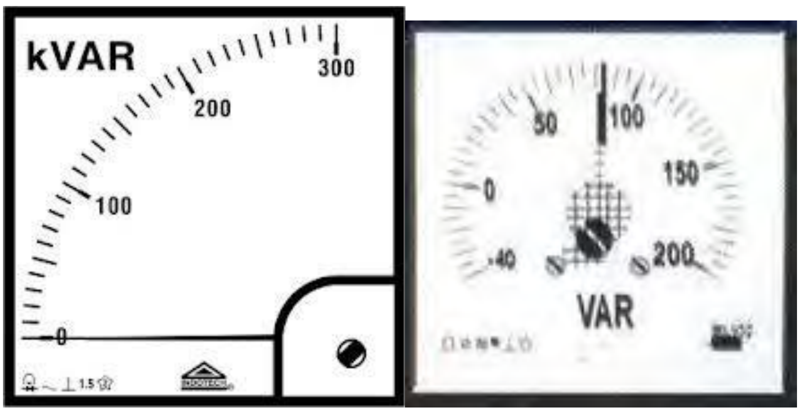
Gambar 7.18 Pengawatan kWh-meter Tiga fasa

3. Pengukuran Daya Reaktif dan Faktor Daya

VAR meter digunakan untuk mengukur daya reaktif. VAR meter juga mempunyai empat terminal. Untuk pengukuran daya reaktif maka penyambungan meternya sama seperti wattmeter. Konstanta ukurnya diskalakan dalam satuan VAR atau KVAR. Di pasaran VAR meter tersedia dalam 2 type, yaitu untuk pengukuran dalam sistem fasa tunggal (mempunyai 4 terminal) dan untuk pengukuran sistem tiga fasa (mempunyai 10 terminal). Untuk pengukuran daya semu dapat dilakukan secara tidak langsung yaitu dengan saling mengalikan hasil pengukuran tegangan dan arus

Lembar Kerja 1: Kondisi Operasi Pengukuran Daya Reaktif dan Faktor Daya

Melalui lembar kerja 1 ini kalian harus melakukan pengamatan untuk mengkaji rangkaian pengukuran daya reaktif dan faktor daya listrik satu fasa dengan cosphimeter yang telah disiapkan oleh guru. Dalam hal ini, guru mendemonstrasikan praktikum pengukuran daya reaktif dan faktor daya listrik sistem satu fasa. Secara berkelompok, kalian harus mengumpulkan data melalui kegiatan mengamati penunjukkan energimeter dari eksperimen yang telah disiapkan oleh guru. Eksperimen tersebut terdiri dari papan eksperimen meliputi sebuah cosphimeter satu fasa, ampermeter, voltmeter, wattmeter, tiga buah lampu TL 40 watt/220V dan kabel jumper. Diskusikan dengan teman sekelompk hasil pengamatan kalian dan presentasikan di kelas.

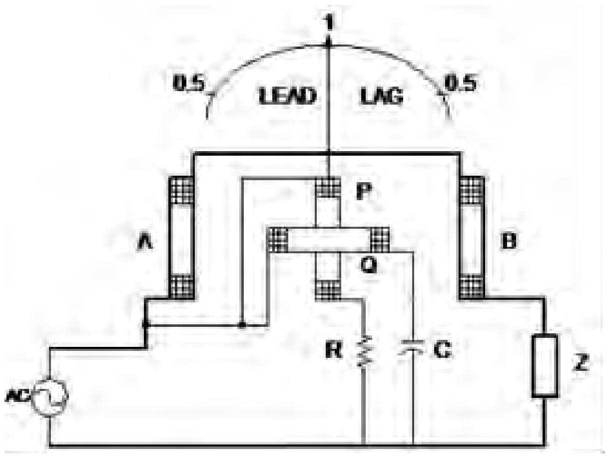


Gambar 7.19 Tipikal VAr-meter dan kVAr-meter

Cosphi—meter

Power factor meter atau lazim disebut sebagai cosphi meter adalah instrumen untuk mengukur factor daya. Instrumen ini sama seperti wattmeter mempunyai 4 terminal. Penyambungan instrumen ini sama seperti watt meter.

Skala ukurnya dibuat sesuai dengan sifat beban listrik yaitu induktif dan kapasitif. Jadi terdapat dua sistem skala yaitu skala untuk beban resistif dan skala untuk beban induktif atau beban kapasitif.



Gambar 7.20 Konstruksi Cosphimeter Elektrodinamis



Gambar 7.21 Cosphi-meter

KEGIATAN BELAJAR 8

Menentukan Kondisi Operasi Pengukuran Resistan Listrik

1. Pengukuran Resistan (Tahanan) Listrik

Kegiatan belajar dimulai dengan melakukan pengamatan kondisi operasi pengukuran tahanan listrik, melalui percobaan yang dilakukan oleh guru. Melalui aktivitas ini diharapkan kalian belajar secara konseptual, dan faktual tentang rangkaian pengukuran resistan listrik. Kalian akan diarahkan untuk melakukan pengamatan dan memeriksa parameter rangkaian pengukuran resistan listrik melalui sebuah eksperimen. Kemudian kalian harus melakukan inferensi secara berkelompok untuk menemukan pola dan hubungan serta prediksi berdasarkan sifat alat ukurnya. Dengan menjawab tiga pertanyaan mendasar, apa, bagaimana, dan mengapa terkait dengan sifat daya reaktif dan faktor daya yang diamatinya, dengan mengkaji berbagai sumber informasi, baik dari buku, dan internet. Kemudian harus mempresentasikan hasil kegiatan belajar kalian di depan kelas untuk mendapat tanggapan dari teman sekelas dan guru.

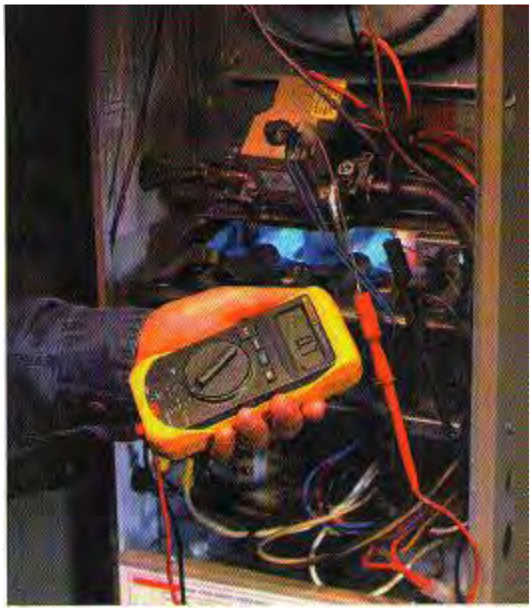
Lembar Kerja 1: Kondisi Operasi Pengukuran Resistan Listrik

Melalui lembar kerja 1 ini kalian harus melakukan pengamatan untuk mengkaji rangkaian pengukuran resistan listrik dengan ohmmeter dan Jembatan Wheat Stone yang telah disiapkan oleh guru. Dalam hal ini, guru mendemonstrasikan praktikum pengukuran resistan listrik dengan menggunakan dua alat ukur tersebut. Secara berkelompok, kalian harus mengumpulkan data melalui kegiatan mengamati penunjukkan energimeter dari eksperimen yang telah disiapkan. Eksperimen tersebut terdiri dari papan eksperimen meliputi sebuah ohmmeter, jembatan wheat stone, resistor, dan kabel jumper. Diskusikan dengan teman sekelompk hasil pengamatan kalian dan presentasikan di kelas

1.1. Pengukuran Tahanan dengan Ohmmeter

Pengukuran tahanan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu (1) langsung, dan (2) Tak Langsung. Pengukuran tahanan secara langsung dilakukan dengan menggunakan ohmmeter. Pada hakekatnya ohmmeter digunakan untuk memeriksa

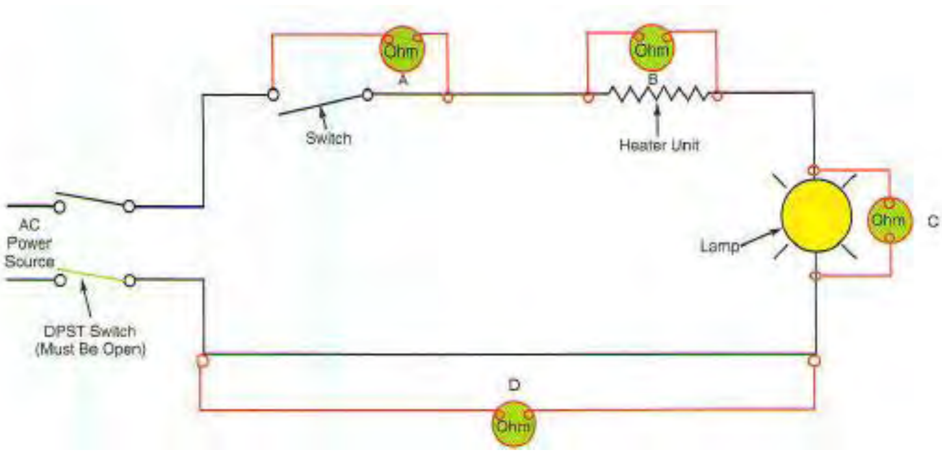
nilai resistan listrik. Tetapi karena karakteristiknya yang khusus, maka ohmmeter dapat digunakan juga untuk memeriksa adanya elemen yang putus dalam suatu rangkaian listrik atau adanya hubungan elemen rangkaian dengan tanah (ground).



Gambar 8.1 Pengukuran resistan dengan Multimeter

Tenaga listrik harus dimatikan ketika akan mengukur nilai resistan pada suatu rangkaian listrik, kalau lupa mematikan daya listriknya, maka ohmmeter akan rusak. Suatu contoh multimeter atau universal meter yang digunakan untuk mengukur resistan diperlihatkan dalam Gambar 8.1 Meter universal tersebut dapat digunakan juga untuk mengukur tegangan listrik arus searah dan arus bolak-balik dan arus listrik searah skala kecil.

Tahanan atau resistan yang akan diukur langsung dihubungkan ke kabel dari ohmmeter atau multimeter baik tipe analog ataupun digital. Gambar 8.2 memperlihatkan koneksi ohmeter untuk mengukur nilai resistan pada suatu rangkaian listrik.



Gambar 8.2 Koneksi Ohmmeter untuk mengukur Resistan

Biasanya ohmmeter dilengkapi sakelar selektor untuk memfasilitasi multi batas ukur. Hal ini dimaksudkan agar pengukuran dapat berlangsung dengan lebih akurat. Batas ukur dipilih dengan menempatkanselektor pemilih mode pada skala pengukuran tahanan. Resistor yang diukur dihubungkan dengankedua kabel meter dan nilai tahanan terbaca pada skala meter.Pengukuran tidak langsung, menggunakan alat meter tahanan khusus dengan prinsip kerja seperti jembatanWheatstone.

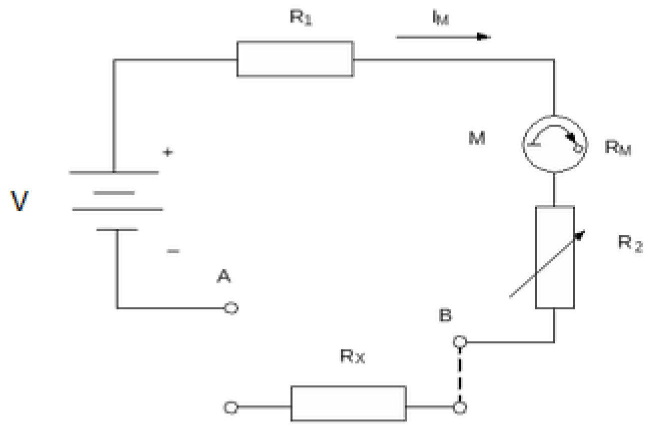


Gambar 8.3 Tipikal Multimeter

Ohmmeter Seri

Di pasaran dikenal dua jenis ohmmeter, yaitu ohmmeter seri dan ohmmeter paralel.Secara umum rangkaian ohmmeter seri ini terdiri dari meter dasar berupa miliammeter/mikroammeter arus searah, beberapa buah resistor dan potensiometer

serta suatu sumber tegangan searah/batere. V adalah sumber tegangan searah/batere dan R_M adalah resistansi dalam meter dasar M



Gambar 8.4 Rangkaian Dasar Ohmmeter Seri

Mula-mula diambil R_X = nol atau A-B dihubungkan sehingga diperoleh arus melalui meter M adalah:

$$I_M = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_M} = I_{Maks}$$

$$R_1 + R_2 + \frac{V}{I_{maks}} = R_M$$

Pada keadaan tersebut R2 diatur agar meter M menunjukan harga maksimum. Imaks = arus skala penuh (full-scale).

Bila diambil RX = tak terhingga atau A-B dalam keadaan terbuka, maka diperoleh:

$I_M = 0$

Sekarang dimisalkan suatu resistor RX dipasang pada A-B, maka arus melalui M adalah:

$$I_M = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_M + R_X}$$

Sehingga:

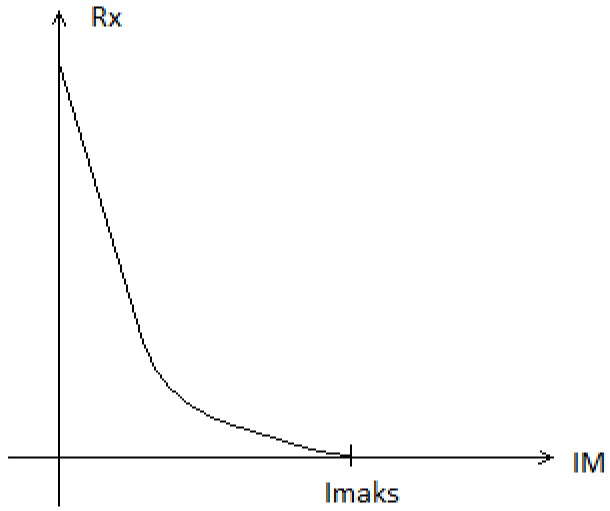
$$R_X = \frac{V}{I_M} - (R_1 + R_2 + R_M)$$

$$R_X = \frac{V}{I_M} - \frac{V}{I_{\text{maks}}}$$

Dalam persamaan tersebut I_M = arus yang mengalir melalui meter M dan R_X = resistansi yang diukur.

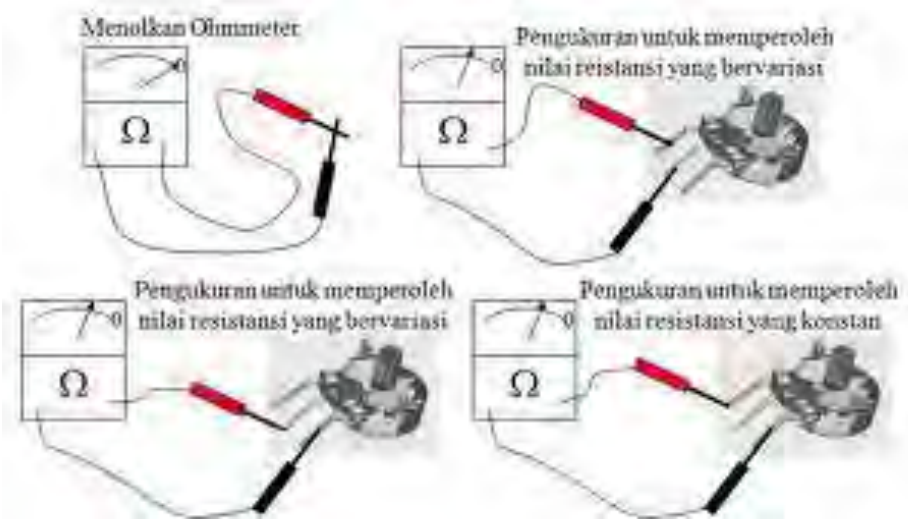
Kurva Kalibrasi

Dari persamaan R_X terlihat bahwa R_X dapat dinyatakan dalam I_M atau terdapat hubungan antara resistansi R_X (yang kita ukur) dengan arus melalui meter I_M. Perhatikan pula bahwa grafik hubungan antara R_X dan I_M disebut sebagai kurva kalibrasi. Berikut ini diperlihatkan contoh bentuk kurva kalibrasi untuk suatu ohmmeter seri.

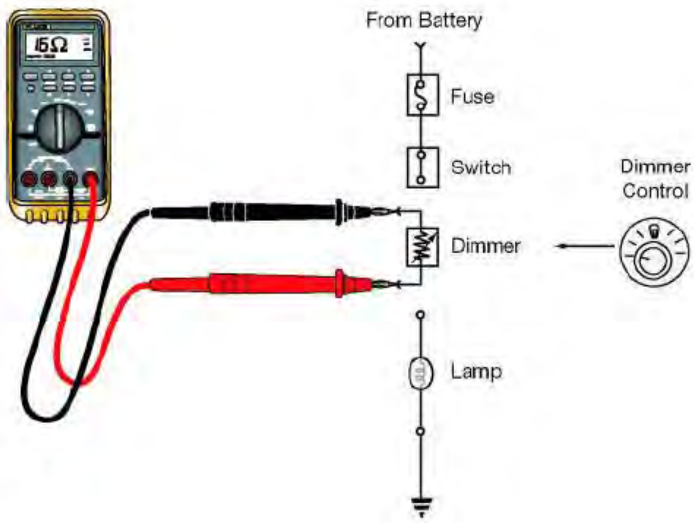


Gambar 8.5 Kurva Kalibrasi Ohmeter Seri

Dari kurva kalibrasi, terlihat bahwa skala ohmmeter merupakan skala yang tidak linier. Pada daerah dekat dengan harga nol terdapat skala yang jarang dan makin dekat dengan harga tak terhingga diperoleh skala yang makin rapat. Selain itu perlu diperhatikan bahwa skala ohmmeter seri harga nol ohm terletak di sebelah kanan pada simpangan maksimum.

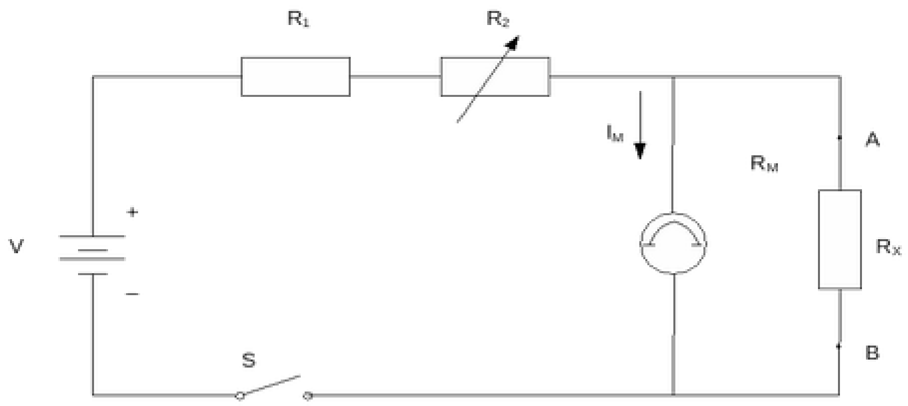


Gambar 8.6 Prinsip Pengukuran Tahanan dengan Ohmmeter Seri



Gambar 8.7 Pengukuran Tahanan pada suatu Rangkaian Dimer

Ohmmeter Paralel



Gambar 8.8 Rangkaian Dasar Ohmmeter Paralel

Dalam keadaan tidak dipergunakan, saklar S harus dibuka agar batere V tidak lekas menjadi lemah. Bila ohmmeter dipergunakan, maka saklar S ditutup.Mula-mula diambil R_X = tak terhingga atau A-B dalam keadaan terbuka, sehingga diperoleh arus melalui M + $I_{M.}$ Pada keadaan ini pontensiometer R_2 diatur agar arus melalui M mencapai harga maksimum (skala penuh), sehingga:

$$I_{maks} = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_M}$$

Kedudukan R_2 jangan diubah lagi sehingga selalu terpenuhi persamaan I_{maks} di atas dengan demikian akan diperoleh bahwa skala dengan R_X = tak terhingga terletak di sebelah kanan. Untuk R_X = nol atau A-B dihubungsingkatkan maka tidak ada arus melalui M atau . Jadi skala nol ohm terletak di sebelah kiri.

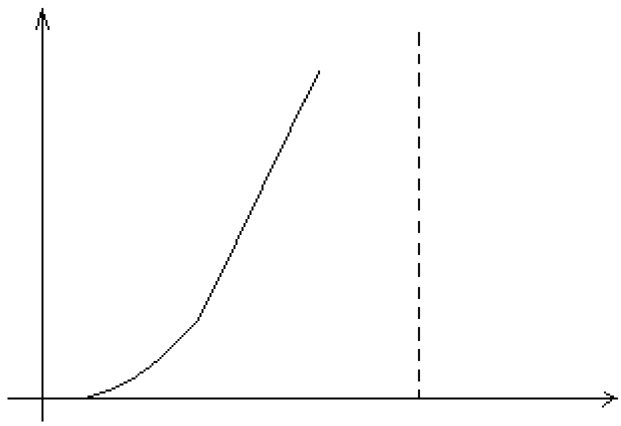
Apakah perbedaan dengan ohmmeter seri ?

Kurva Kalibrasi

Bila dipasang resistansi R_X pada rangkaian pada Gambar 5.60 maka dapat dihitung arus melalui M:

$$I_M = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_M + \frac{R_M}{R_X}(R_1 + R_2)}$$

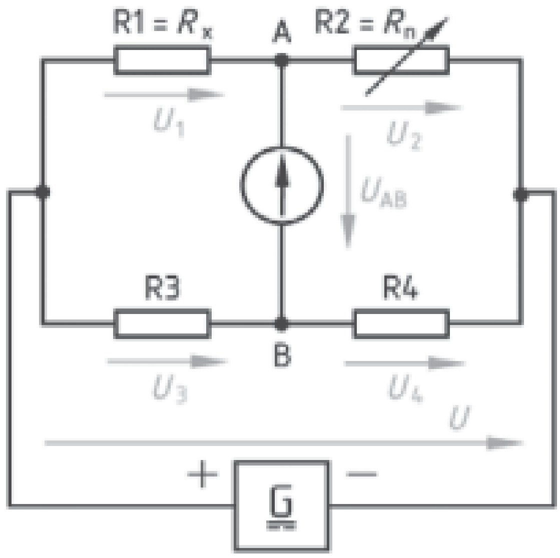
Dari persamaan I_M di atas dapat dibuat kurva kalibrasi yaitu grafik R_X sebagai fungsi I_M. Berikut, diperlihatkan contoh bentuk kurva kalibrasi suatu ohmmeter paralel.



Gambar 8.9 Kurva Kalibrasi Ohmmeter Paralel

1.2. Jembatan Wheatstone

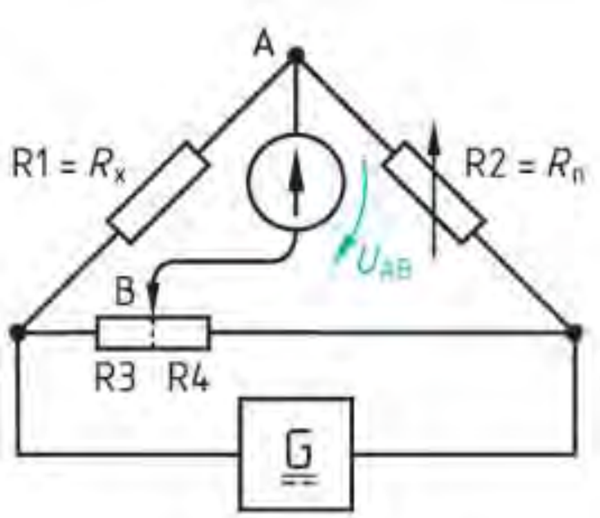
Pengembangan rangkaian resistor seri dan paralelmenghasilkan prinsip Jembatan Wheatstone. Sumber tegangan DC mencatu rangkaian empatbuah resistor. R1 seri dengan R2, dan R3 seri dengan R4.Hukum Kirchoff tegangan menyatakan jumlah drop tegangan sama dengan tegangan sumber.



Gambar 8.10 Jembatan Wheatstone

Titik A-B dipasang Voltmeter mengukur beda tegangan, jika meter menunjukkan nol,artinya tegangan U1 = U3 disebut kondisi seimbang. Jika U1 $\neq$ U3 disebut kondisi tidak seimbang dan meter menunjukkan angka tertentu.

Aplikasi praktis dipakai model Gambar 5.63, di mana R1 = Rx merupakan tahanan yang dicari besarannya. R2 = Rn adalah tahanan yang bisa diatur besarannya. R3 dan R4 dari tahanan geser. Dengan mengatur posisi tahanan geser B, sampai Voltmeter posisi nol. Kondisi ini disebut setimbang, maka berlaku rumus kesetimbangan jembatan Wheatstone.



Gambar 8.11 Jembatan Wheatsone

Contoh:

Jembatan Wheatstone, diketahui besarnya nilai R2 = 40 Ω, R3 = 25 Ω, R4 = 50 Ω. Hitung besarnya R1 dalam kondisi setimbang!

Jawab:

Jika UAB = 0 V, maka

$$R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_4} = \frac{40 - 25}{50}$$

KEGIATAN BELAJAR 9
Menentukan Kondisi Operasi Oskiloskop

Oskiloskop

Osiloskop merupakan alat ukur, dimana bentuk gelombang sinyal listrik yang diukur, tergambar pada layar tabung sinar katoda (cathode ray tube).Osiloskop selanjutnya disebut CRO (cathode ray oscilloscope) adalah instrumen laboratorium yang sangat bermanfaat untuk pengukuran, analisa bentuk-bentuk gelombang, dan gejala lain dalam rangkaian-rangkaian listrik/elektronik. Pada dasarnya CRO adalah alat pembuat grafik X-Y yang sangat cepat berupa tampilan sebuah sinyal masukan terhadap sinyal lain atau terhadap waktu. Tampilan tersebut adalah sebuah bintik cahaya yang bergerak di permukaan layar sebagai respon terhadap tegangan-tegangan masukan.

Lembar Kerja 1: Kondisi Operasi Oskilsokop

Melalui lembar kerja ini kalian harus melakukan pengamatan untuk mengkaji rangkaian pengukuran besaran atau sinyal listrik dengan oskiloskop yang telah disiapkan oleh guru. Dalam hal ini, guru mendemonstrasikan praktikum pengukuran besaran listrik dengan menggunakan oskiloskop, meliputi pengukuran sinyal tegangan AC dan DC, pengukuran sinyal arus AC dan DC, serta pengukuran beda fasa. Secara berkelompok, kalian harus mengumpulkan data melalui kegiatan mengamati penunjukkan pada layar oskiloskop dari eksperimen yang telah disiapkan oleh guru. Eksperimen tersebut terdiri dari papan eksperimen meliputi sebuah sebuah oskiloskop, function generator dan kabel jumper. Diskusikan dengan teman sekelompk hasil pengamatan kalian dan presentasikan di kelas

1. Operasi Dasar Oskiloskop Sinar Katoda

Osiloskop merupakan alat ukur, dimana bentuk gelombang sinyal listrik yang diukur, tergambar pada layar tabung sinar katoda (cathode ray tube). Osiloskop sinar katoda atau CRO (cathode ray oscilloscope) adalah instrumen laboratorium yang sangat bermanfaat untuk pengukuran, analisa bentuk-bentuk gelombang, dan gejala lain dalam rangkaian-rangkaian listrik/elektronik. Pada dasarnya CRO adalah

alat pembuat grafik X-Y yang sangat cepat berupa tampilan sebuah sinyal masukan terhadap sinyal lain atau terhadap waktu. Tampilan tersebut adalah sebuah bintik cahaya yang bergerak di permukaan layar sebagai respon terhadap tegangan-tegangan masukan.

Dalam pemakaian CRO yang biasa, sumbu X atau input horisontal adalah tegangan ramp linier yang dibangkitkan secara internal, berbasis waktu yang secara periodik menggerakkan bintik cahaya dari kiri ke kanan melalui permukaan layar. Tegangan yang akan diperiksa dimasukkan ke sumbu Y atau input vertikal CRO, menggerakkan bintik ke atas dan ke bawah sesuai dengan nilai sesaat tegangan masukan. Selanjutnya bintik tersebut menghasilkan jejak berkas gambar pada layar yang menunjukkan variasi tegangan masukan sebagai fungsi dari waktu. Jika tegangan masukan berulang dengan laju yang cukup cepat, gambar akan kelihatan sebagai sebuah pola yang diam pada layar. Dengan demikian CRO melengkapi suatu cara pengamatan tegangan yang berubah terhadap waktu.

Disamping tegangan, CRO dapat menyajikan gambaran visual dari berbagai fenomena dinamik melalui pemakaian tranducer yang mengubah arus, tekanan, regangan, suhu, akselerasi, dan banyak besaran fisis lainnya menjadi tegangan.

Subsistem utama dari sebuah CRO terdiri dari:

(1) Tabung Sinar Katoda (CRT)
(2) Penguat Vertikal
(3) Saluran Tunda
(4) Generator Basisi waktu
(5) Penguat horisontal
(6) Rangkaian Pemicu
(7) Sumber Daya



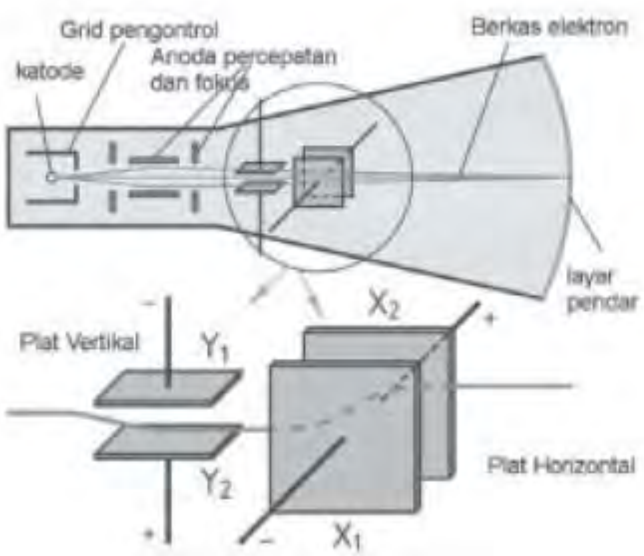
Gambar 9.1 Oskiloskop

Osiloskop termasuk alat ukur elektronik, digunakan untuk melihat bentuk gelombang, menganalisis gelombang, dan fenomena lain dalam rangkaian listrik dan elektronika. Dengan osiloskop dapat melihat amplitudo tegangan dan bentuk gelombang, sehingga harga rata-rata,puncak, RMS (root mean square), maupun harga puncak-ke- puncak atau Vp-p dari tegangan dapat kita ukur. Selain itu, juga hubungan antara frekuensi dan fasa antara dua gelombang juga dapat dibandingkan.

Tabung sinar katoda (CRT) merupakan jantung osiloskop, Pada dasarnya CRT menghasilkan suatu berkas elektron yang dipusatkan secara tajam dan dipercepat pada suatu titik kecepatan yang sangat tinggi. Berkas yang dipusatkan dan dipercepat ini bergerak dari sumbernya (electron gun) ke depan CRT, di mana ia membentur bahan fluorerensi yang melekat di permukaan CRT (layar) bagian

dalam dengan energi yang cukup untuk membuat layar bercahaya dalam sebuah bintik kecil.

Selagi merambat dari sumbernya ke layar, berkas elektron lewat di antara sepasang pelat defleksi vertikal dan sepasang pelat defleksi horisontal. Tegangan yang dimasukkan ke pelat defleksi vertikal dapat menggerakkan berkas elektron pada bidang vertikal sehingga bintik CRT bergerak ke atas dan ke bawah. Tegangan yang dimasukkan ke pelat defleksi horisontal dapat menggerakkan berkas pada bidang horisontal dan bintik CRT ini dari kiri ke kanan. Gerakan-gerakan ini saling tidak bergantungan satu sama lain sehingga bintik CRT dapat ditempatkan di setiap tempat pada layar dengan menghubungkan masukan tegangan vertikal dan horisontal yang sesuai secara bersamaan.



Gambar 9.2 Prinsip Pemancar Eletron

Pemancar Elektron

Pemancar elektron merupakan bagian terpenting sebuah osiloskop.Katode di dalam CRT (Cathode Ray Tube) akanmengemisikan elektron-elektron ke layar CRTmelalui elektrode-elektrode pemfokus intensitaspancaran elektron ditentukan oleh banyaknyaelektron yang diemisikan oleh katode.

Bahan yang memantulkan cahaya pada layar CRT dapat diperoleh dari sulfid, oksid atausilikat dari kadmium, yang diaktifkan melalui bahan tambahan dari perak, emas atau tembaga.Pada umumnya dipilih warna hijau untuk tampilan cahaya pada layar CRT, karena matamanusia pada umumnya peka terhadap warna ini.

Penguat Vertikal

Penguat vertikal dapat memberikan tegangan hingga 100 V. Penguat ini harus dapatmenguatkan tegangan DC maupun AC dengan penguatan yang sama. Pengukuran sinyaldapat diatur melalui tombol POS (position).

Input Y

Bagian Input-Y (Vert. Input) terhubung dengan tombolpembagi tegangan, untuk membagitegangan yang akan diukur, denganperbandingan 10 : 1 atau 100 : 1. Tombol ini harus dibantu dengansinyal kotak untuk kompensasi.

Penguat Horisontal:

Penguat ini memiliki dua input, satu dari sweep generator, menghasilkan trace (sapuan)horizontal lewat CRT dan input yang lain menguatkan sinyal eksternal dan ditampilkan padaCRT hanya pada sumbu horizontal.Skala pada sumbu Horisontal CRT Osiloskop, digunakan untuk mengukur waktu (periode)dari sinyal yang diukur, misalnya 2 ms/ divisi.

Generator-Waktu

Generator waktu menghasilkan sinyal gigigergaji, yang frekuensinya dapat diatur, dengancara mengatur periodenya melalui tombol TIMEBASE. CRT akan menampilkan sinyal yang diukur(sinyal input) hanya jika periode sinyal tersebut persis sama dengan periode sinyal gigi gergaji iniatau merupakan kelipatan periodenya.

Triggering dan bias waktu

Sinyal gigi gergaji akan mulai muncul jika ada sinyal trigger. Pada saat sinyalinput melewati level trigger, maka sinyal gigi gergajimulai muncul.

Catu Daya

Kinerja catu daya ini sangat mempengaruhi kinerja bagian lainnya di dalam osiloskop.Catu daya yang tidak terregulasi dengan baik akan menyebabkan kesalahan pengukurandan tampilan yang tidak baik pada CRT (fokus, kecerahan/ brightness, sensitifitas, dansebagainya).

Oskiloskop Digital

Pada osiloskop digital, semua data yangakan ditampilkan disimpan di dalam RAM. Sinyalanalog akan di-sampling, lalu dikuantisasioleh ADC, diberi nilai (biner) sesuai denganbesarnya amplitudo tersampling (Gambar 8.38).Nilai ini dapat ditampilkan kembali secaralangsung pada layar CRT atau monitor PC melaluikabel penghubung RS-232.Perbedaan antara osiloskop analog dan digital

hanya pada pemproses sinyal ADC. Pengarahpancaran elektron pada osiloskop ini samadengan pengarah pancaran elektron padaosiloskop analog. Osiloskop digital ada yangdilengkapi dengan perangkat lunak matematikuntuk analisis sinyal atau printer.

Osiloskop digital, terdiri dari:

• ADC (Analog-to-Digital Converter)

• DAC (Digital-to-Analog Converter)

• Penyimpan Elektronik

Berikut ini diberikan ilustrasi pengukuran dengan menggunakan osiloskop meliputi: (1) pengukuran tegangan DC, (2) mengukur tegangan AC, periode, dan frekuensi, (3) mengukur arus listrik AC, (4) pengukuran beda phasa tegangan dengan arus listrik AC, dan Lisayus.

2. Pengukuran Sinyal Tegangan

Pengukuran Sinyal tegangan DC

Tahanan R1 dan R2 berfungsi sebagai pembagitegangan. Ground osiloskop dihubung kan ke negatipcatu daya DC. Probe kanal-1 dihubungkan ujungsambungan R1 dengan R2. Tegangan searah diukurpada mode DC.

Misalnya:

VDC = 5V/div. 3div = 15 V

Bentuk tegangan DC merupakan garis tebal lurus padalayar CRT. Tegangan terukur diukur dari garis nol kegaris horizontal DC.



Gambar 9.3 Cara Pengukuran Tegangan DC

Mengukur Tegangan AC, periode T, dan frekuensi F

Trafo digunakan untuk mengisolasi antara listrikyang diukur dengan listrik pada osiloskop.

Jika menggunakan listrik PLN maka frekuensinya50 Hz.

Misalnya: Vp = 2V/div · 3 div = 6 V

Vrms = 6 / V2= 4,2 V

T = 2ms/div · 10 div = 20 ms

f = 1/T = 1/20ms = 50 Hz

Tegangan AC berbentuk sinusoida dengan tinggiU dan lebar periodenya T. Besarnya tegangan 6 V danperiodenya 20 milidetik dan frekuensinya 50 Hz.



Gambar 9.4 Cara Pengukuran Tegangan AC

3. Pengukuran Arus

Mengukur Sinyal Arus Listrik AC

Pada dasarnya osiloskop hanya mengukurtegangan. Untuk mengukur arus dilakukan secaratidak langsung dengan R = 1W untuk mengukur droptegangan.

Misalnya:

Vp = 50 mV/div · 3div

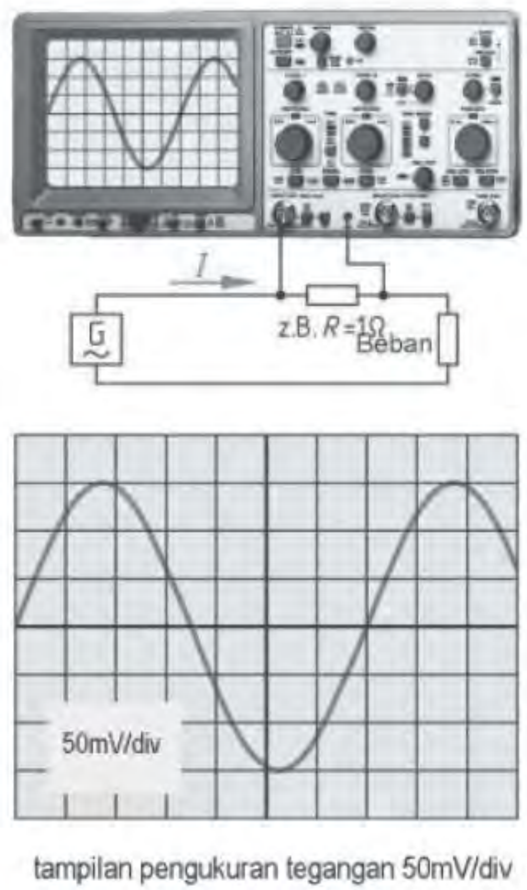
= 150 mV = 0,15 V

Vrms = 0,15 / V2 = 0,1 V

I = Vrms/R = 0,1V / 1Ω

= 0,1 A

Bentuk sinyal arus yang melaluiresistor R adalah sinusoida menyerupai tegangan. Pada beban resistor sinyal tegangan dan sinyal arus akan sephasa.



Gambar 9.5 Prinsip Pengukuran Arus

4. Pengukuran Beda Phasa

Mengukur Beda Fasa Tegangan dengan Arus Listrik AC.

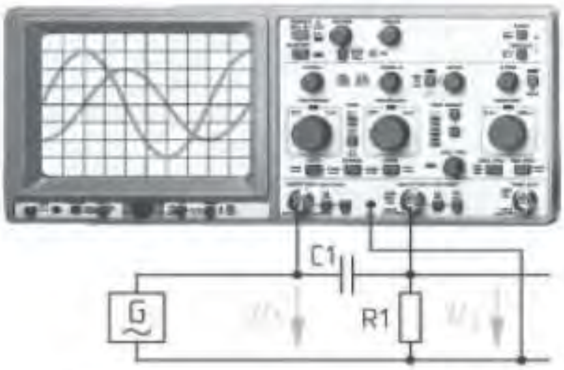
Beda phasa dapat diukur dengan rangkaian C1 danR1. Tegangan U1 menampakkan tegangan catu darigenerator AC. Tegangan U2 dibagi dengan nilai resistor R1 representasi dari arus listrik AC. Pergeseranphasa U1 dengan U2 sebesar Dx.

Misalnya: $\phi = \Delta x \cdot 360°/XT$

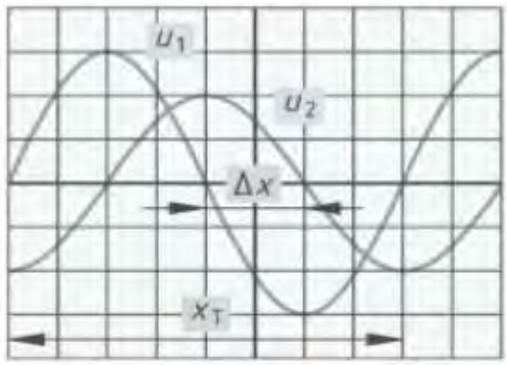
= 2 div · 360°/8div = 90°

Tampilan sinyal sinusoida tegangan U1 (tegangan catudaya) dan tegangan U2 (jika dibagi dengan R1,representasi dari arus AC).

Pergeseran phasa antara tegangan dan arussebesar ϕ =900



Pengukuran pergeseran phasa R dengan kapasitor C1

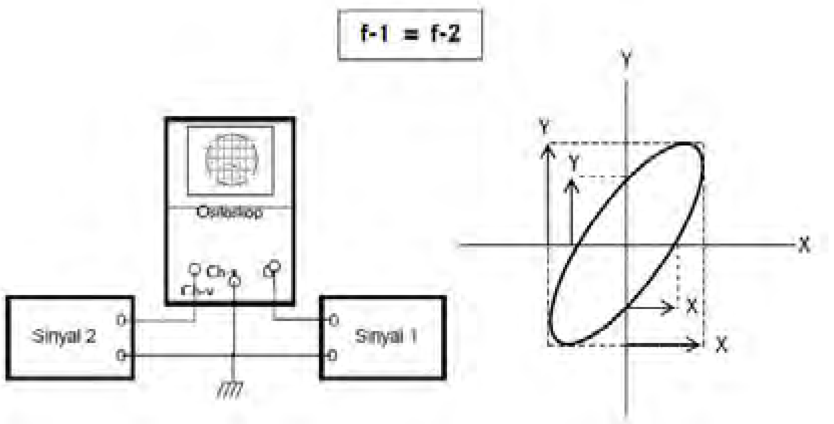


pengukuran pergeseran phasa U1-U2

Gambar 9.6 Pengukuran Beda Fasa

Metode Lissajous

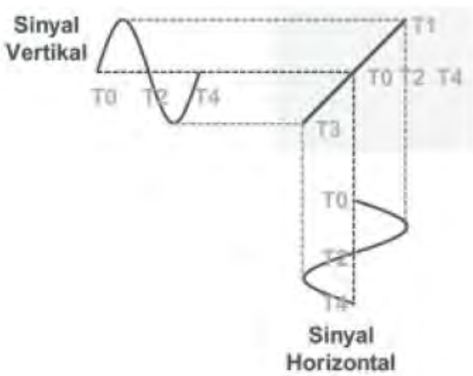
Dua sinyal dapat diukur beda phasanya dengan memanfaatkan input vertikal(kanal Y) dan horizontal (kanal-X). Dengan menggunakan osiloskop dua kanal dapatditampilkan beda phasa yang dikenal dengan metode Lissajous.



Gambar 9.7 Prinsip Pengukuran Metoda Lissajous

Beda phasa 0° atau 360°.

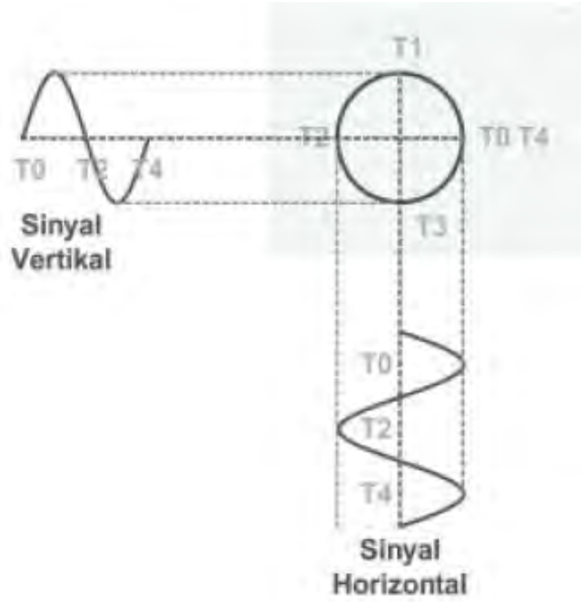
Dua sinyal yang berbeda, dalam hal ini sinyal inputdan sinyal output jika dipadukan akan menghasilkankonfigurasi bentuk yang sama sekali berbeda.Sinyal input dimasukkan ke kanal Y (vertikal) dansinyal output dimasukkan ke kanal X (horizontal)berbeda 0°, dipadukan akan menghasilkan sinyalpaduan berupa garis lurus yang membentuksudut 45°



Gambar 9.8 Beda Fasa nol atau 360^{o} antara Input dan Output

Beda phasa 90° atau 270°.

Sinyal vertikal berupa sinyal sinusoida. Sinyal horizontal yang berbeda phasa 90° atau270° dimasukkan. Hasil paduan yang tampil pada layar CRT adalah garis bulat



Gambar 9.9 Beda Fasa 90^{o}atau 270^o antara Input dan Output

Permasalahan

1. Jelaskan meter D,Arsonval!
2. Jelaskan prinsip DC ampermeter!
3. Jelaskan prinsip DC voltmeter!
4. Jelaskan prinsip alat ukur elektrodinamis!
5. Jelaskan Alat ukur kWhmeter!
6. Jelaskan prinsip pengukuran daya sistem satu fasa!
7. Jelaskan prinsip pengukuran daya sistem tiga fasa!
8. Jelaskan prinsip pengukuran konsumsi energi bagi suatuperalatan listrik!
9. Bagaimana prinsip pengukuran daya reaktif?
10. Jelaskan kondisi oerasi Oskiloskop!

KEGIATAN BELAJAR 10

Menggunakan Peralatan Ukur Listrik

Aktivitas belajar kalian dimulai dengan mengerjakan tugas kelompok untuk mengembangkan wawasan kalian terkait dengan pekerjaan pengukuran listrik. Dalam hal ini, guru kalian akan memberikan tugas melalui Lembar Kerja 1. Melalui tugas ini kalian secara berkelompok harus mencari dan menemukan berbagai hal terkait dengan pekerjaan pengukuran listrik dalam kehidupan nyata baik untuk keperluan bisnis maupun untuk keperluan penelitian, terkait dengan masalah terminologi dan ketelitian dalam pengukuran listrik

Lembar Kerja 1: Terminologi Dalam Pengukuran Listrik

Melalui lembar kerja ini kalian harus mendalami masalah terminologi dalam pengukuran listrik baik untuk urusan bisnis maupun untuk keperluan penelitian. Hal-hal penting yang harus kalian temukan terkait dengan terminologi antara lain kesalahan ukur dan ketidak pastian pengukuran, kesalahan ukur, akurasi, sensitivitas, resolusi, stabilitas, kalibrasi, peralatan standar atau presisi, dan peralatan panel. Untuk itu kalian harus mengumpulkan informasi dan melakukan inferensi secara berkelompok untuk menemukan pola dan hubungan dengan mengkaji berbagai sumber informasi, baik dari buku, dan internet. Kemudian harus mempresentasikan hasil kegiatan belajar kalian di depan kelas untuk mendapat tanggapan dari teman sekelas.

1. Terminologi dalam Pengukuran Listrik

Pengukuran adalah proses untuk mendapatkan informasi besaran fisis tertentu, seperti tegangan (V), arus listrik (I), hambatan (R), konduktivitas (ρ), dan lainnya. Data yang diperoleh dapat berupa nilai dalam bentuk angka (kuantitatif) maupun berupa pernyataan yang merupakan sebuah pernyataan atau generalisasi (kualitatif). Informasi yang diperoleh dalam suatu pengukuran disebut data. Sesuai dengan sifat pengukuran maka data dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu : (1) data kuantitatif, dan (2) data kualitatif.

Dalam sistem transmisi tenaga listrik dikenal istilah-istilah sebagai berikut: tegangan tinggi, tegangan ekstra tinggi, dan tegangan ultra tinggi. Pernyataan tentang tegangan tersebut disebut sebagai data kualittatif. Bila informasi yang diperoleh dalam pengukuran berupa nilai/angka maka data itu disebut data kuantitatif, misalnya sebuah pengukuran tegangan diperoleh (220 ± 5%) volt.

Data yang diperoleh dari hasil pengumpulan data, dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu: (1) data empiris, dan (2) data terproses. Data empiris diperoleh langsung saat dilakukan pengukuran (apa yang terbaca pada alat ukur). Data empiris sering disebut juga data mentah karena belum diproses lebih lanjut. Nilai tegangan yang terbaca pada voltmeter merupakan data empiris. Data Terproses diperoleh setelah dilakukan pengolahan tertentu, misalnya melalui sebuah perhitungan. Sebagai contoh jika diukur tegangan V dan arus I maka hambatan R = V/I setelah dihitung hasilnya disebut data terproses. Data tipe ini biasanya diperoleh dari proses reduksi data.

Berkaitan dengan data di atas maka setelah data terkumpul dari hasil suatu pengukuran selanjutnya dilakukan proses perhitungan-perhitungan matematik atau dilakukan penyusunan ulang data-data. Proses/prosedur ini disebut reduksi data atau pengolahan data.

Alat ukur listrik merupakanperalatan yang diperlukan olehmanusia. Karena besaran listrikseperti : tegangan, arus, daya,frekuensi dan sebagainya tidakdapat secara langsung ditanggapioleh panca indera. Untukmengukur besaran listrik tersebut,diperlukan alat pengubah. Atau besaran ditransformasikan kedalam besaran mekanis yangberupa gerak denganmenggunakan alat ukur. Perludisadari bahwa untuk dapatmenggunakan berbagai macamalat ukur listrik perlu pemahananpengetahuan yang memadaitentang konsep – konsep teoritisnya.

Dalam mempelajari pengukuran dikenal beberapa istilah, antara lain :

Instrumen : adalah alat ukur untuk menentukan nilai atau besaransuatu kuantitas atau variabel.

Ketelitian : harga terdekat dengan mana suatu pembacaaninstrumen mendekati harga sebenarnya dari variabel yangdiukur.
Ketepatan : suatu ukuran kemampuan untuk hasil pengukuran yang serupa
Sensitivitas : perbandingan antara sinyal keluaran atau responsinstrumen terhadap perubahan masukan atau variabelyang diukur.
Resolusi : :perubahan terkecil dalam nilai yang diukur yang manainstrumen akan memberi respon atau tanggapan.
Kesalahan : penyimpangan variabel yang diukur dari harga (nilai) yangsebenarnya.

Alat ukur listrik dikelompokkan menjadi dua, yaitu: (1) alat ukur standard, dan (2) alat ukur sekunder. Alat ukur standar lazim disebut sebagai alat ukur absolut; merupakan alat ukur yang menunjukkanbesaran dari komponen listrik yangdiukur dengan batas-batas padakonstanta dan penyimpangan padaalat itu sendiri. Ini menunjukkanbahwa alat tersebut tidak perludikalibrasi atau dibandingkandengan alat ukur lainnya lebih dahulu. Contoh dari alat ukur iniadalah galvanometer.

Alat ukur sekunder merupakan alat ukur yangmenunjukkan harga besaran listrikyang diukur dan dapat ditentukanhanya dari simpangan alat ukurtersebut. Sebelumnya alat ukursudah dikalibrasi denganmembandingkan pada alat ukur standar/absolut. Contoh dari alatukur ini adalah alat ukur listrik yangsering dipergunakan sehari-hari.

Ketelitian dan Ketepatan (Presisi)

Ketelitian menyatakan tingkat kesesuaian hasil pengukuran terhadap harga atau nilai yang sebenarnya; sedang ketepatan menyatakan tingkat kesamaan di dalam sekelompok pengukuran atau sejumlah instrumen. Misalkan kita bandingkan dua buah voltmeter dengan model dan dari pabrikan sama. Mestinya kedua voltmeter tersebut dapat dibaca dengan ketepatan yang sama, tetapi dapat pula terjadi ketelitian kedua voltmeter tersebut dapat berbea sama sekali. Hal ini dapat terjadi karena adanya kesalahan sistem dalam salah satu voltmeter tersebut, misalkan berubahnya tahaman seri di dalam sasalah satu voltmeter tersebut. Untuk menentukan voltmeter mana yang menghasilkan kesalahan ukur, diperlukan perbandingan terhadap voltmeter standar (kalibrasi).

Ketepatan terdiri dari dua karakteristik, yaitu (1) kesesuaian, dan (2) jumlah angka yang berarti dari suatu hasil pengukuran. Kesesuaian adalah suatu persyaratan yang perlu tetapi belum cukup untuk memperoleh ketepatan, misalkan sebuah tahanan 1,384572 mega-ohm diukur dengan ohmmeter secara konsisten dan berulang memberikan hasil pengukuran sebesar 1,4 mega-ohm. Yang menjadi pertanyaan adalah: apakah hasil pengukuran tersebut telah membaca harga yang sebenarnya? Tentu saja belum, karena kita masih perlu membicarakan angka-angka yang berarti dari hasil pengukuran. Angka-angka yang berarti tersebut memberikan informasi yang aktual mengenai kebesaran dan ketepatan pengukuran. Makin banyak angka yang berarti, ketepatan pengukuran menjadi lebih besar.

Sebagai contoh, jika nilai sebuah tahanan adalah 68 ohm, ini berarti bahwa tahanan tersebut akan lebih mendekati 68 ohm daripada 67 ohm atau 69 ohm. Selanjutnya jika disebutkan nilai tahanan adalah 68,0 ohm, berarti nilai tahanan tersbut lebih mendekati 68,0 ohm daripada 67,9 ohm atau 68,1 ohm. Pada 68 ohm terdapat dua angka yang berarti, sedang pada tahanan 68,0 ohm terdapat tiga angka yang berarti, yang memiliki ketepatan yang lebih tinggi daripada tahanan 68 ohm. Sudah menjadi kelaziman untuk mencatat suatu hasil pengukuran dengan menggunakan semua angka yang kita yakini paling mendekati ke harga yang sebenarnya. Misalnya, jika sebuah voltmeter dibaca 117,1 volt; maka ini menunjukkan bahwa penaksiran yang paling baik menurut pengamat yang lebih mendekati ke 117,1 volt daripada 117,0 volt atau 117,2 volt. Cara lain untuk menyatakan hasil pengukuran ini adalah menggunakan rangkuman kesalahan yang mungkin, sehingga dapat dituliskan menjadi 117,1 ± 0,05 volt.
Contoh: Serangkaian pengukuran tegangan yang dilakukan dengan konsisten oleh empat pengamat memberikan data hasil pengukuran: 117,02 volt, 117,11 volt, 117,08 volt, dan 117, 03 volt. Tentukan (1) nilai rata-rata, dan (2) rangkumankesalahan ukurnya.

Penyelesaian:

(8) $$U_{rata-rata} = \frac{117{,}02 + 117{,}11 + 117{,}08 + 117{,}03}{4} = 117{,}06\,V$$

(9) Rangkuman Kesalahan (mak) = Umak – Urata-rata = 117,11 – 117,06 = 0,05 V

Rangkuman Kesalahan (min) = Urata-rata – Umin = 117,06 – 117,02 = 0,04 V

Rangkuman kesalahan rata-rata = ± 0,045 = ± 0,05 V

Sering terjadi bahwa banyaknya angka belum tentu menyatakan ketepatan pengukuran. Bilangan-bilangan besar dengan anka-angka nol sebelum titik desimal sering digunakan pada penaksiran jumlah penduduk atau uang. Misalnya, jika jumlah penduduk sebuah kota dilaporkan dalam enam angka. yaitu 380.000, ini dapat diartikan bahwa penduduk yang sebenarnya adalah antara 379.000 dan 380.001 yakni dalam enam angka yang berarti. Tetapi walaupun dalam enam angka berarti bukan 370.000 atau 390.000. karena jumlah penduduk tersebut tidak lebih mendekati ke angka 380.000. Bentuk penulisan teknis yang lebih tepat adalah menggunakan perpangkatan sepuluh, misalnya 38 x 10^4 atau 3,8 x 10^5. Di sini ditunjukkan bahwa jumlah penduduk hanya teliti sampai dua angka yang berarti. Ketidakpastian yang disebabkan oleh angka-angka nol di sebelah kiri titik desimal biasanya diatasi dengan tanda penulisan ilmiah yaitu dengan menggunakan perpangkatan sepuluh.

Kesalahan Ukur

Secara konsep pengukuran, baik karena keterbatasan alat ukur maupun karena kondisi lingkungan maka dipercaya bahwa setiap pengukuran akan selalu menghasilkan hasil ukur yang tidak semestinya (sebenarnya). Dalam hal ini diasumsikan hasil benar tersebut tidak diketahui. Simpangan atau selisih (difference) antara hasil ukur (hasil pengamatan) dan hasil yang sebenarnya dinyatakan sebagai ralat (error). Dalam mengukur tegangan misalnya, hasilnya dinyatakan dengan 1,5 $<V<$ 1,6 volt atau V = (1,4 ± 0,1) volt. Nilai benar pengukuran tentu saja berada di dalam rentang hasil pengukuran ini.

Oleh karena sebuah rentang nilai pengukuran sekaligus menyatakan ketidakpastian hasil ukur maka pengertian kesalahan atau error sering tidak

dibedakan dengan pengertian ketidakpastian untuk menunjukkan deviasi pengukuran terhadap nilai benar. Sebagai contoh, sebuah pengukuran tegangan dituliskan hasilnya dengan V = (10,5 ± 0,5) volt, artinya alat ukur kita menunjukkan hasil baca 10,5 volt (dengan ketidakpastian/ralat pengukuran 0,5 volt, sedangkan nilai benar kita berada dalam selang nilai (10,5 - 0,5 = 10,0) volt sampai dengan (10,5 + 0,5 = 11,0) volt.

Saat melakukan pengukuran besaran listrik tidak ada yang menghasilkan ketelitian dengan sempurna. Perlu diketahui ketelitian yang sebenarnya dan sebab terjadinya kesalahan pengukuran. Kesalahan - kesalahan dalam pengukuran dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu: (1) kesalahan umum (gross-error), (2) kesalahan sistematis (systematic-error), dan (3) kesalahan acak (random-error).

Kesalahan-kesalahan Umum (*gross-errors*)

Kesalahan ini kebanyakan disebabkan oleh kesalahan manusia. Diantaranya adalah kesalahan pembacaan alat ukur, penyetelan yang tidak tepat dan pemakaian instrumen yang tidak sesuai dan kesalahan penaksiran. Kesalahan ukur juga dapat terjadi karena keteledoran atau kebiasaan- kebiasaan yang buruk, seperti pembacaan yang tidak teliti, pencatatan yang berbeda dari pembacaannya. Agar mendapatkan hasil yang optimal, maka diperlukan pembacaan lebih dari satu kali. Bisa dilakukan tiga kali, kemudian dirata-rata. Jika mungkin dengan pengamat yang berbeda. Kesalahan ukur juga dapat disebabkan penggunaan voltmeter yang tidak tepat sehingga menimbulkan efek pembebanan terhadap rangkaian yang menimbulkan kesalahan ukur yang signifikan. Kesalahan ini tidak dapat dihindari, tetapi harus dicegah dan perlu perbaikkan.

Kesalahan Ukur akibat Efek Pembebanan Voltmeter

Contoh: Sebuah voltmeter dengan kepekan 1000 Ω/Volt membaca 100 volt pada skala 150 volt bila dihubungkan di antara ujung-ujung sebuah tahanan yang besarnya tidak diketahui. Tahanan ini dihubungkan secara seri dengan sebuah miliamperemter. Jika miliampermeter tersebut membaca 5 mA, tentukan (1) tahanan yang terbaca, (2) nilai tahanan aktual dari tahanan yang diukur, (3) kesalahan karena efek pembebanan voltmeter.

Penyelesaian:

Tahanan total rangkaian adalah:

$$R_T = \frac{U_T}{I_T} = \frac{100\,V}{5\,mA} = 20\,k\Omega$$

Dengan mengabaikan tahanan dalam miliampermeter, harga tahanan yang tidak diketahui adalah Rx = 20 kΩ.

Tahanan dalam voltmeter adalah:

RV = 1000Ω/Volt x 150 V = 150 kΩ

Karena voltmeter tersebut paralel terhadap tahanan yang tiidak diketahui, maka dapat dituliskan:

$$Rx = \frac{R_T R_V}{R_V + R_T} = \frac{20\,x\,150}{150 - 20} = 23{,}05\,k\Omega$$

Persentae kesalahan adalah:

$$\%\,Kesalahan = \frac{Aktual - terbaca}{aktual}\,x\,100\% = \frac{23{,}05 - 20}{23{,}05}\,x\,100\% = 13{,}23\%$$

Jika pada kasus tersebut di atas miliampermeter menunjukkan 800 mA dan voltmeter menunjukkan 40 volt pada skala 150 volt, maka kesalahan akibat pembebanan volt meter menjadi kecil, yaitu:

$$R_T = \frac{U_T}{I_T} = \frac{40\,V}{800\,mA} = 50\,\Omega$$

RV = 1000Ω/Volt x 150 V = 150 kΩ

$$Rx = \frac{R_T R_V}{R_V + R_T} = \frac{50\Xi\,x\,150k\Omega}{149{,}95k\Omega} = 50{,}1\,\Omega$$

$$\%\,Kesalahan = \frac{50{,}1 - 50}{50{,}1}\,x\,100\% = 0{,}2\%$$

Kesalahan Ukur akibat Kesalahan Batas

Contoh: Ketelitian sebuah voltmeter 0 – 150 V dijamin sampai 1% pada skala penuh. Jika nilai tegangan yang terbaca oleh voltmeter adalah 83 V, maka besar kesalahan ukur akibat kesalahan batas adalah:

$0,01 \times 150V = 1,5\ V$

Kesalahan pada penunjukkan voltmeter sebesar 83 V adalah

$$\frac{1,5}{83} x100\% = 1,81\%$$

Kesalahan pada penunjukkan voltmeter sebesar 30 V adalah

$$\frac{1,5}{30} x100\% = 5\%$$

Kesalahan-kesalahan sistematis (*systematic errors*)

Kesalahan ini disebabkan oleh kekurangan-kekurangan pada instrumen sendiri. Seperti kerusakan atau adanya bagian-bagian yang aus dan pengaruh lingkungan terhadap peralatan atau pemakai. Kesalahan ini merupakan kesalahan yang tidak dapat dihindari dari instrumen, karena struktur mekanisnya. Contoh: gesekan beberapa komponen yang bergerak terhadap bantalan dapat menimbulkan pembacaan yang tidak tepat. Tarikan pegas yang tidak teratur, perpendekan pegas, berkurangnya tarikan karena penanganan yang tidak tepat atau pembebanan instrumen yang berlebihan. Ini semua akan mengakibatkan kesalahan-kesalahan. Selain dari beberapa hal yang sudah disinggung di atas masih ada lagi yaitu kesalahan kalibrasi yang bisa mengakibatkan pembacaan instrumen terlalu tinggi atau terlalu rendah dari yang seharusnya.

Cara yang paling tepat untuk mengetahui instrumen tersebut mempunyai kesalahan atau tidak yaitu dengan membandingkan dengan instrumen lain yang memiliki karakteristik yang sama atau terhadap instrumen lain yang akurasinya lebih tinggi. Untuk menghindari kesalahan-kesalahan tersebut dengan cara : (1) memilih instrumen yang tepat untuk pemakaian tertentu; (2) menggunakan faktor-faktor koreksi setelah mengetahui banyaknya kesalahan; (3) mengkalibrasi instrumen tersebut terhadap instrumen standar. Pada kesalahan-kesalahan yang disebabkan lingkungan, seperti : efek perubahan temperatur, kelembaban, tahanan udara luar,medan-medan maknetik, dan sebagainya dapat dihindari dengan membuat pengkondisian udara (AC), penyegelan komponen-komponen instrumen tertentu dengan rapat, pemakaian pelindung maknetik.

Kesalahan Acak (*random-error*)

Kesalahan acak yang tak disengaja (random errors) diakibatkan oleh penyebab yang tidak dapat langsung diketahui. Antara lain sebab perubahan-perubahan parameter atau sistem pengukuran terjadi secara acak. Pada pengukuran yang sudah direncanakan kesalahan - kesalahan ini biasanya hanya kecil. Tetapi untuk pekerjaan - pekerjaan yang memerlukan ketelitian tinggi akan berpengaruh. Misalkan suatu tegangan diukur dengan voltmeter dibaca setiap jam, walaupun instrumen yang digunakan sudah dikalibrasi dan kondisi lingkungan sudah diset sedemikian rupa, tetapi hasil pembacaan akan terjadi perbedaan selama periode pengamatan. Untuk mengatasi kesalahan ini dengan menambah jumlah pembacaan dan menggunakan cara-cara statistik untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Alat ukur listrik sebelum digunakan untuk mengukur perlu diperhatikan penempatannya. Ini penting karena posisi pada bagian yang bergerak yang menunjukkan besarannya akan dipengaruhi oleh titik berat bagian yang bergerak dari suatu alat ukur tersebut. Oleh karena itu letak penggunaan alat ukur perlu diperhatikan dengan seksama.

Akurasi

Suatu alat ukur dikatakan tepat jika mempunyai akurasi yang baik yaitu hasil ukur menunjukkan ketidakpastian yang kecil. Dapat juga dipahami sebagai seberapa dekat hasil ukur dengan nilai benarnya. Dalam hal ini sebelum sebuah alat ukur digunakan, harus dipastikan bahwa kondisi alat benarbenar dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan, yaitu alat dalam keadaan terkalibrasi dengan baik. Kalibrasi yang buruk akan menyebabkan ketidakpastian hasil ukur menjadi besar.

Klasifikasi Kelas Meter Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang mendekati dengan harga sebenarnya. Perlu memperhatikan batas kesalahan yang tertera pada alat ukur tersebut. Klasifikasi alat ukur listrik menurut Standar IEC no. 13B-23 menspesifikasikan bahwa ketelitian alat ukur dibagi menjadi 8 kelas, yaitu : 0,05; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,5 ; dan 5. Kelas-kelas tersebut artinya bahwa

besarnyakesalalahan dari alat ukur pada batas-batas ukur masing-masing kali ± 0,05 %, ± 0,1 %, ± 0,2 %, ± 0,5 %, ± 1,0 %, ± 1,5 %, ± 2,5 %, ± 5 % dari relatif harga maksimum.

Dari 8 kelas alat ukur tersebut digolongkan menjadi 4 golongan sesuai dengan daerah pemakaiannya, yaitu :(1) Golongan dari kelas 0,05, 0,1, 0,2 termasuk alat ukur presisi yang tertinggi. Biasa digunakan di laboratorium yang standar. (2) Golongan alat ukur dari kelas 0,5 mempunyai ketelitian dan presisi tingkat berikutnya dari kelas 0,2 alat ukur ini biasa digunakan untuk pengukuran-pengukuran presisi. Alat ukur ini biasanya portebel. (3) Golongan dari kelas 1,0 mempunyai ketelitian dan presisi pada tingkat lebih rendah dari alat ukur kelas 0,5. Alat ini biasa digunakan pada alat ukur portebel yang kecil atau alat-alat ukur pada panel. (4) Golongan dari kelas 1,5, 2,5, dan 5 alat ukur ini dipergunakan pada panel-panel yang tidak begitu memperhatikan presisi dan ketelitian.

Kalibrasi

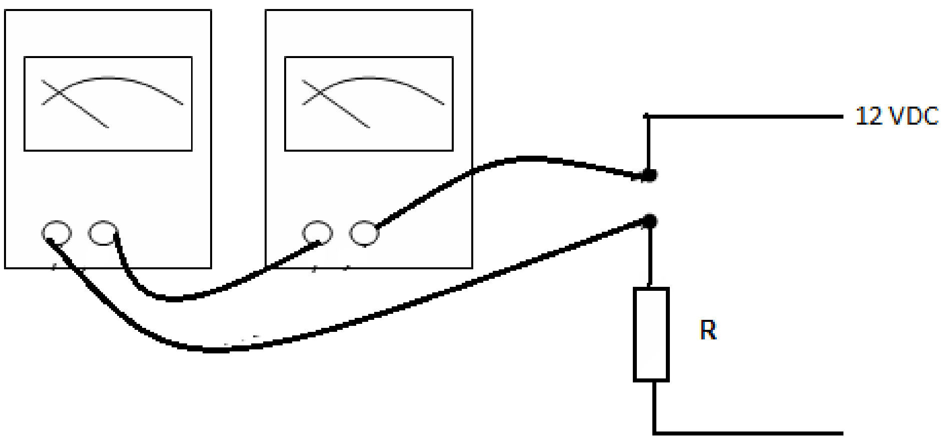
Alat ukur perlu diteliti kalibrasinya sebelum dipergunakan agar hasil ukurnya dapat dipercaya. Saat kalibrasi harus selalu menempatkan jarum penunjuk pada titik nol yang sesungguhnya, saat alat ukur akan digunakan. Sering pada sebuah alat ukur jarum penunjuk tidak berada pada titik nol yang semestinya sehingga saat digunakan nilai baca selalu lebih besar atau lebih kecil dari yang seharusnya sehingga menyumbang apa yang disebut ralat sistematis. Secara umum pengertian kalibarasi di sini adalah membandingkan alat ukur Anda dengan referensi. Referensi (standar) yang digunakan untuk mengkalibrasi alat ukur dapat ditempuh dengan beberapa tahap.

Setiap sistem pengukuran harus dapat dibuktikan keandalannya dalam mengukur, prosedur pembuktian ini disebut kalibrasi. kalibrasi atau peneraan bagi pemakai alat ukur sangat penting. Kalibrasi dapat mengurangi kesalahan meningkatkan ketelitian pengukuran. Langkah prosedur kalibrasi menggunakan perbandingan instrumen yang akan dikalibrasi dengan instrumen standar. Berikut ini

dicontohkan kalibrasi untuk ampermeter arus searah dan voltmeter arus searah secara sederhana.

Kalibrasi Ampermeter

Kalibrasi secara sederhana yang dilakukan pada ampermeter arus searah. Caranya dapat dilakukan dengan membandingkan arus yang melalui ampermeter yang akan dikalibrasi (A) dengan ampermeter standar (As). Langkah-langkahnya ampermeter (A) dan ampermeter standar (As) dipasang secara seri perhatikan gambar 10.1 di bawah.



Gambar 10.1 Kalibrasi Ampermeter Arus Searah

Sebaiknya ampermeter yang akan digunakan sebagai meter standar adalah ampermeter yang mempunyai kelas presisi yang tinggi (0,05, 0,1, 0,2) atau presisi tingkat berikutnya (0,5). Gambar 10.1 ditunjukkan bahwa IA adalah arus yang terukur pada meter yang akan dikalibrasi, Is adalah arus standar yang dianggap sebagai harga arus sebenarnya. Jika kesalahan mutlak (absolut) dari ampermeter diberi simbol α dan biasa disebut kesalahan dari alat ukur, maka dapat dituliskan :

$\alpha = IA - Is$

Perbandingan kesalahan alat ukur (α) terhadap harga arus sebenarnya (Is), yaitu : α/Is biasa disebut kesalahan relatif atau rasio kesalahan. Dinyatakan dalam persen.

Sedangkan perbedaan atau selisih antara harga sebenanya atau standar dengan harga pengukuran disebut harga koreksi dituliskan :

Is - IA = k

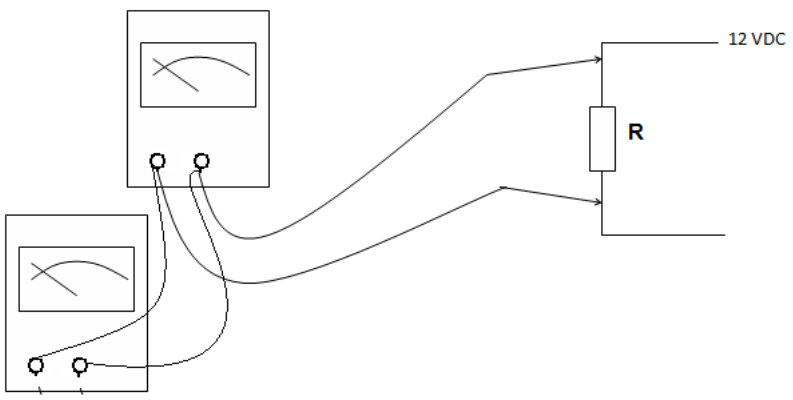
Perbandingan harga koreksi terhadap arus yang terukur (k/IA) disebut rasio koreksi atau koreksi relatif dinyatakan dalam persen

Contoh Penerapan:

Sebuah ampermeter arus searah digunakan untuk mengukur arus yang memiliki besaran 20 mA. Nilai ukur yang ditunjukkan oleh ampermeter tersebut adalah 19,4 mA. Pada kasus ini kesalahan ukur = 19,4 – 20 = - 0,6 mA. Koreksi = 20 – 19,4 = 0,6 mA. Jadi besarnya kesalahan relatif = -0,6/20 x 100% = - 3% dan koreksi relatif = 0,6/19,4 x 100% = 3,09%

Kalibrasi voltmeter arus searah

Sama halnya pada ampermeter, kalibrasi voltmeter arus searah dilakukan dengan cara membandingkan harga tegangan yang terukur voltmeter yang dikalibrasi (V) dengan voltmeter standar (Vs). Langkah-langkahnya voltmeter (V) dan voltmeter standar (Vs) dipasang secara paralel perhatikan gambar 6.2 di bawah.



Gambar 10.2 Kalibrasi voltmeter arus searah

Voltmeter yang digunakan sebagai meter standar adalah voltmeter yang mempunyai kelas presisi tinggi (0,05, 0,1, 0,2) atau presisi tingkat berikutnya (0,5). Pada gambar

10.2, V adalah tegangan yang terukur pada meter yang dikalibrasi, sedangkan Vs adalah tegangan standar yang dianggap sebagai harga tegangan sebenarnya. Jika kesalahan mutlak (absolut) dari voltmeter diberi simbol α dan biasa disebut kesalahan dari alat ukur, maka dapat dituliskan :

$\alpha = V - Vs$

Perbandingan besar kesalahan alat ukur (α) terhadap harga tegangan sebenarnya (Vs), yaitu : α/Vs disebut kesalahan relatif atau rasio kesalahan dinyatakan dalam persen. Sedangkan perbedaan harga sebenanya atau standar dengan harga pengukuran disebut koreksi dapat dituliskan :

$Vs - V = k$

Demikian pula perbandingan koreksi terhadap arus yang terukur (k / V) disebut rasio koreksi atau koreksi relatif dinyatakan dalam persen.

Contoh Penerapan:

Sebuah voltmeter DC digunakan untuk mengukur tegangan searah yang besarnya 50 volt. Nilai ukur yang ditunjukkan oleh voltmeter tersebut adalah 48 volt. Pada kasus ini, kesalahan ukur = 48 – 50 = - 2 volt. Koreksi = 50 -48 = 2 volt. Kesalahan relatif = -2/50 x 100% = - 4%

Koreksi relatif = 2/48 x 100% = 4,16%.

Peralatan Standar (Primer)

Apabila ada peralatan standar atau peralatan primer maka sebaiknya acuan ini yang digunakan untuk mengecek kalibrasi alat. NIST (National Institute of Standard and Technology) dalam hal ini termasuk yang memiliki wewenang untuk selalu memelihara dan menyediakan standar-standar yang diperlukan dalam pengukuran, misalnya temperatur, massa, dan waktu.

Peralatan Sekunder

Biasanya apabila standar primer tidak dapat ditemukan maka dapat menggunakan standar sekunder berupa alat ukur lain yang diyakini mempunyai

akurasi yang lebih baik. Sebagai contoh, suatu voltmeter pada waktu digunakan menunjukkan pembacaan 4,5 volt. Alat lain yang diyakini akurasinya (standar sekunder) menghasilkan nilai 4,4 volt. Dengan ini berarti voltmeter dapat dikalibrasi 0,1 volt lebih kecil.

Presisi

Sebuah alat ukur dikatakan presisi jika untuk pengukuran besaran fisis tertentu yang diulang maka alat ukur tersebut mampu menghasilkan hasil ukur yang sama seperti sebelumnya. Sebagai contoh jika pengukur tegangan dengan voltmeter menghasilkan pengukuran diulang beberapa kali kemudian tetap menghasilkan pembacaan 5,61 volt, alat-alat tersebut sangat presisi. Oleh karena itu, sifat presisi sebuah alat ukur bergantung pada resolusi dan stabilitas alat ukur.

Resolusi

Sebuah alat ukur dikatakan mempunyai resolusi yang tinggi/baik jika alat tersebut mampu mengukur perubahan nilai besaran fisis untuk skala perubahan yang semakin kecil. Voltmeter dengan skala terkecil I mV tentu mempunyai resolusi lebih baik dibanding voltmeter dengan skala baca terkecil 1 volt.

Stabilitas

Stabilitas alat ukur dikaitkan dengan stabilitas hasil ukur/hasil pembacaan yang bebas dari pengaruh variasi acak. Jadi, dikaitkan dengan penunjukan hasil baca yang tidak berubah-ubah selama pengukuran. Jarum voltmeter tidak bergerak-gerak ke kiri maupun ke kanan di sekitar nilai tertentu. Jadi, sebuah alat ukur yang baik harus memiliki akurasi yang baik juga harus menghasilkan presisi tinggi. Sebuah alat ukur mungkin saja mempunyai presisi yang baik, tetapi tidak akurat dan sebaliknya. Selain sebuah alat ukur perlu mempunyai akurasi dan presisi yang baik, perlu juga memiliki sensitivitas yang tinggi.

Sensitivitas

Apabila alat ukur mempunyai respon yang baik terhadap setiap perubahan kecil sinyal input/masukan sehingga output (hasil baca) mengikuti perubahan tersebut maka alat dikatakan sensitif.

2. Sistem Satuan

Alat ukur adalah alat yang dapat digunakan untuk mengetahui hasil perbandingan antara suatu besaran yang ingin diketahui dengan standar yang dipakai. Fungsi penting dari alat ukur khususnya alat ukur besaran listrik adalah untuk mengetahui nilai yang telah ditentukan sebagai batasan laik atau tidaknya peralatan atau jaringan listrik akan dioperasikan. Dalam pengukuran kita mem-bandingkan suatu besaran dengan besaran standar. Sehingga dalam pengukuran perlu mengetahui besaran, satuan dan dimensi.

Besaran adalah sesuatu yang dapat diukur. Besaran terdiri dari: (1) Besaran dasar; yakni besaran yang tidak tergantung pada besaran lain, dan (2) Besaran turunan; yakni besaran yang diturunkan dari besaran-besaran dasar, dan merupakan kombinasi dari besaran dasar.

Lembar Kerja 2: Standarisasi Satuan

Ada tiga sifat penting dalam teknik ketenagalistrikan yang harus dipahami dengan benar, yaitu: (1) arus, (2) tegangan, (3) frekuensi, (4) daya, (5) faktor daya, dan (6) energi listrik. Begitu pentingkah standarisasi satuan untuk arus, tegangan, frekuensi, daya, faktor daya, dan energi listrik dalam mengarungi kehidupan? Untuk menambah wawasanmu, lakukan pengamatan pada berbagai peralatan rumah tangga dan industri yang terkait dengan sistem tenaga listrik. Catat data teknis yang tertera pada plat nama peralatan tersebut. Diskusikan dengan teman sekelompokmu. Coba gali gagasan kreatif kalian, dan kemukakan pendapat kalian. Jika mengalami kesulitan, kalian dapat mencari informasi dari sumber-sumber informasi lain, seperti buku teks, majalah atau di internet! Presentasi hasilnya di depan kelas. Dalam paparan jelaskan mengapa kita perlu mengetahui sifat-sifat tersebut!

Penerapan Sistem Satuan

Pembangkitan tenaga listrik, jaringan tenaga listrik, distribusi tenaga listrik dan pemanfaatan tenaga listrik berkaitan denganbesaran dan satuan yang menentukan ukurannya. Oleh karena itu, sebelum kita memperdalam semua permasalahan dalam bisnis ketenagalistrikan, sebaiknya kalian mendalami terlebih dahulu tentang satuan-satuan standar yang digunakan yang berlaku secara universal agar dapat menerapkannya secara benar.

Untuk ilmu pengetahuan dan teknologi, satuan dapat dianggap sebagai mata uang. Dengan mata uang kalian dapat melakukan transaksi apa saja, kapan saja, dan di mana saja. Demikian juga dengan satuan. Ada dua sistem satuan yang dapat digunakan, yaitu (1) Sistem Internasional, yang lazim disebut sebagai satuan SI, dan (2) Sistem Imperial (Inggris) yang merupakan sistem satuan yang berlaku di Eropa. Sistem satuan SI paling banyak digunakan di seluruh dunia, dan buku ini, menerapkan kedua sistem satuan tersebut.

Tahun 1960 atas persetujuan internasional ditunjuk sebagai sistem internasional (SI). Sistem SI digunakan enam satuan dasar, yaitu meter, kilogram, sekon, dan amper (MKSA) dan sebagai satuan dasar tambahan adalah derajat kelvin dan lilin (kandela) yaitu sebagai satuan temperatur dan intensitas cahaya, seperti terlihat pada tabel 10.1.

Tabel 10.1 Satuan Dasar

Besaran		**Satuan**	
Nama	**Simbol**	**Nama**	**Simbol**
Panjang	l	Meter	m
Massa	m	kilogram	Kg
Waktu	T	detik	s
arus listrik	A	ampere	A
temperatur	T	Kelvin	K
jumlah zat	n	molekul	mol

kuat cahaya	l_v	lilin	cd

Satuan-satuan lain yang dapat dinyatakan dengan satuan-satuan dasar disebut satuan-satuan turunan. Untuk memudahkan beberapa satuan turunan telah diberi nama baru, contoh untuk daya dalam SI dinamakan watt yaitu menggantikan j/s. Tabel 10.2 memperlihatkan satuan turunan yang beralku dalam teknik ketenagalistrikan.

Tabel 10.2 Satuan Turunan

Besaran		**Satuan**	
Nama	**Simbol**	**Nama**	**Simbol**
Luminasi	L	lilin per meter kuadrat	Cd/m^2
frekuensi	f	hertz	Hz
Energi listrik	W	joule	J
Daya listrik	P	watt	W
Tegangan Listrik	U	volt	V
Kapasitansi listrik	C	farad	F
Resistansi listrik	R	ohm	Ω
Konduktansi	G	siemens	S
Fluksi magnetik	Φ	weber	Wb
Kerapatan fluksi	B	tesla	T
Induktansi	L	henry	H

Asosiasi pengembangan Ilmu Pengetahuan Inggris telah menetapkan sentimeter sebagai satuan dasar untuk panjang dan gram sebagai satuan dasar untuk massa. Dari sini dikembangkan sistem satuan sentimeter-gramsekon (CGS). Dalam sistem elektrostatik CGS, satuan muatan listrik diturunkan dari sentimeter, gram, dan sekon dengan menetapkan bahwa permissivitas ruang hampa pada hukum coulumb mengenai muatan listrik adalah satu. Satuan-satuan turunan untuk arus listrik dan potensial listrik dalam sistem elektromagnetik, yaitu amper dan volt digunakan dalam pengukuranpengukuran praktis. Kedua satuan ini beserta salah satu dari satuan

lainnya seperti: coulomb, ohm, henry, farad, dan sebagainya digabungkan di dalam satuan ketiga yang disebut sistem praktis (practical system).

Faktor Kelipatan Desimal

Nilai besaran yang akan kita ukur memiliki rentang yang sangat besar, mulai dari orde sangat kecil hingga sangat besar. Untuk memudahkan dalam pembacaan nilai ukur lazim digunakan faktor kelipatan desimal. Tabel 10.3 memperlihatkan faktor kelipatan desimal yang dimaksudkan.

Tabel 10.3 Faktor Kelipatan Desimal

Faktor	Awalan	Lambang
1018	Exa	E
1015	Peta	P
1012	Tera	T
109	Giga	G
106	Mega	M
103	Kilo	K
102	Hecto	H
101	Deca	Da
10-1	Deci	D
10-2	Centi	C
10-3	Mili	M
10-6	Micro	μ
10-9	Nano	N
10-12	Pico	P
10-15	Femto	F
10-18	Alto	A

Tugas 1: Faktor Kelipatan

Selesaikan latihan ini dengan benar

No	Satuan Awal	Satuan Akhir
1	0,02 GA	.... kA
2	0,7 kV	 V
3	500 kV	.... MV
4	2200 VA	.... kV
5	12.000 watt	.... MW
6	12.560 kVAr	.... Var
7	4,5 MW	.... GW
8	0,25 TW	.... GW
9	0,025 MA	.... kA
10	500 kH	.... MH

Tugas 2: Pergerakan Jarum Penunjuk Meter Analog

1. Uraikan sistem dan konstruksi pergerakan jarum penunjuk meter pada sistem kumparan putar!
2. Faktor apa yang menentukan besarnya nilai resistansi ekivalen pada meterkumperan putar?
3. Apa maksud spesifikasi pergerakan jarum penunjuk pada meter kumparan putar?

Tugas 3: Sensitifitas Meter

1. Apa makna istilah sensitivitas meter kumparan putar! Berikan contoh nyata lewat pengukuran besaran listrik tegangan dan arus.
2. Dua buah meter masing-masing memiliki sensitivitas 10 kilo-ohm per volt dan 1 kilo-ohm per volt. Berikan analisamu tentang sensitivitas kedua meter tersebut

Tugas 4: Pengukuran Arus dan tegangan Searah

1. Faktor apa yang menetukan nilai resistansi dalam (Rm) suatu meter dasar berbasis kumparan putar!
2. Faktor apa yang menentukan nilai arus (Im) pada suatu meer dasar berbasis kumparan putar?
3. Sebuah meter dasar memiliki spesifikasi sebagai berikut: arus meter Im = 1 mA dan tahanan dalam meter Rm = 200 ohm. Tentukan nilai resistan shunt yang diperlukan untuk meningkatkan batas ukurnya menjadi 10mA, 50 mA, 100 mA, 20 mA, dan 1000 mA.
4. Sebuah meter dasar memiliki spesifikasi sebagai berikut: arus meter Im = 1 mA dan tahanan dalam meter Rm = 100 ohm. Tentukan nilai resistan seri yang harus dipasang pada meter dasar untuk meningkatkan batas ukur tegangan menjadi 1V, 5 V, 15 V, dan 50 V.

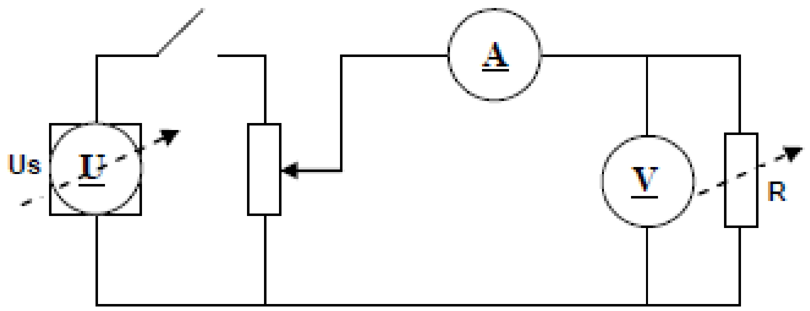
Tugas 5: Pengukuran Tahanan Atau Resistansi Listrik

1. Uraikan mengapa skala ukur ohmmeter tidak linear!
2. Mengapa pada batas ukur yang tinggi ohmmeter memerlukan sumber tegangan yang lebih besar. Misalnya batas ukur R x 10 kilo-ohm daan batas ukur R x 1 ohm?
3. Apa fungsi tuas putar “ohm adjust” pada ohmmeter?
4. Mengapa pada pengukuran tahanan pada suatu rangkaian listrik, tidak memerlukan sumber tegangan atau sumber tegangan pada rangkaian tersebut dimatikan!
5. Apa yang terjadi jika pada pengukuran tahanan pada suatu rangkaian listrik, sumber tegangan rangkaian masih aktif?
6. Tentukan nilai resistor pembatas yang digunakan pada disain ohmmeter seri yang menggunakan meter dasar 0,1 mA, dan tahanan dalam meter dasar 200 ohm dan tegangan sumber untuk ohmmeter adalah 30 V.

3. Perancangan Kerja Proyek:

Kerja Proyek 1:

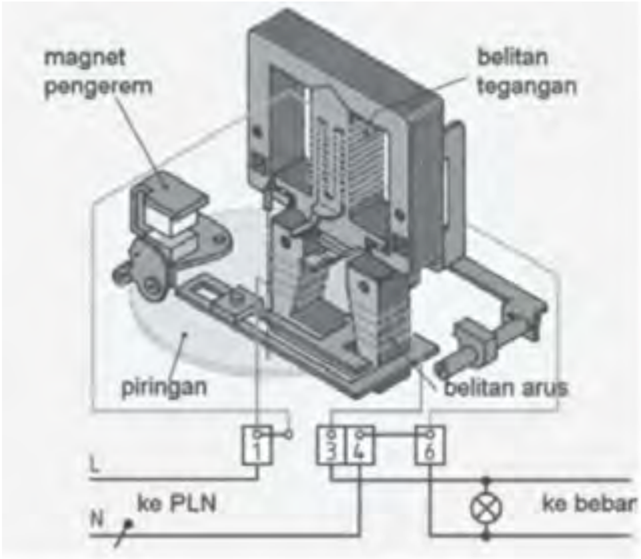
1. Menggunakan Ampermeter dan Voltmeter



Petunjuk:

1. Rencanakan sebuah proyek pengukuran arus dan tegangan seperti gambar di atas.
2. Buat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran.
3. Percobaan pertama dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: resistor variabel R diatur pada nilai tertentu (perkirakan setengah nilai maksimum), kemudian atur tegangan sumber Us, secara gradual dengan kenaikan setiap step sebesar 5 – 10 volt, atau usahakan memperoleh sepuluh nilai ukur untuk sepuluh step.
4. Percobaan kedua dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: tegangan sumber diatur pada nilai tertentu (nilai maksimum), kemudian atur resistor variabel R, secara gradual dengan kenaikan setiap step sebesar 10 – 50 ohm, atau usahakan memperoleh sepuluh nilai ukur untuk sepuluh step.
5. Setelah data terkumpul, diskusikan dengan teman sekelompok untuk mengolah data tersebut. Hasilnya dipresentasikan di depan kelas.

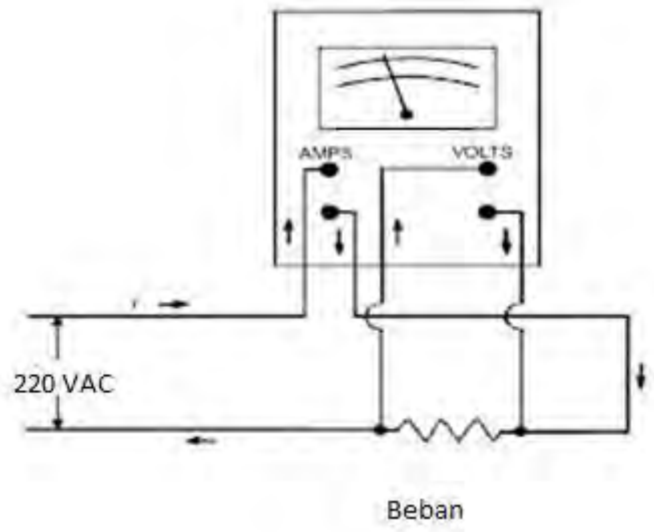
Kerja proyek 2:



Petunjuk:

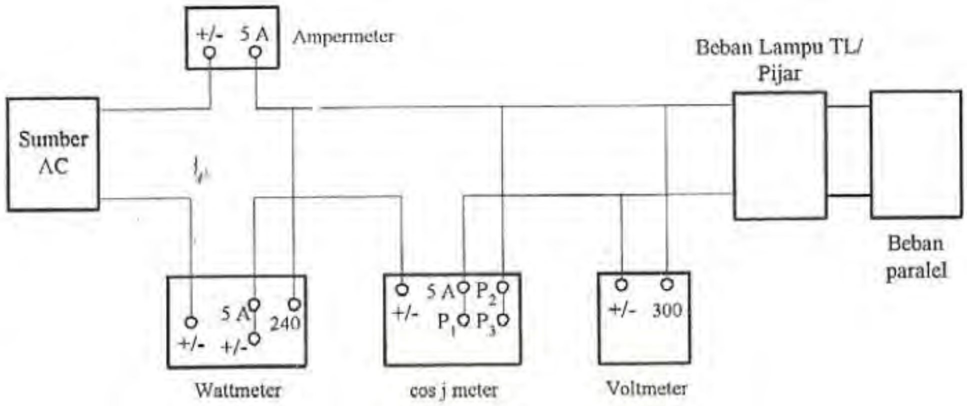
1. Rencanakan sebuah proyek pengukuran energi listrikdengan menggunakan kWh-meter satu fasa seperti gambar di atas.
2. Buat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran.
3. Percobaan pertama dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan lampu TL 40 watt/220 V sebagai beban.
4. Percobaan kedua dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan lampu Pijar 40 watt/220 V sebagai beban.
5. Setelah data terkumpul, diskusikan dengan teman sekelompok untuk mengolah data tersebut. Hasilnya dipresentasikan di depan kelas.

Kerja proyek 3:



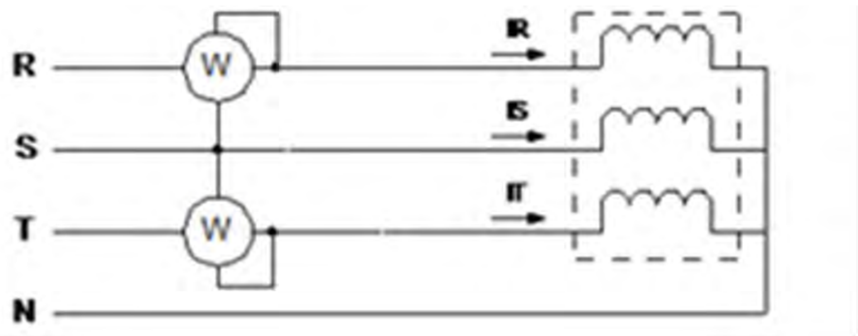
Petunjuk:

1. Rencanakan sebuah proyek pengukuran daya dan faktor daya seperti gambar di atas.
2. Buat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran.
3. Percobaan pertama dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan lampu TL 40 watt/220 V sebagai beban.
4. Percobaan kedua dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan lampu Pijar 40 watt/220 V sebagai beban.
5. Setelah data terkumpul, diskusikan dengan teman sekelompok untuk mengolah data tersebut. Hasilnya dipresentasikan di depan kelas.



Gambar Kerja

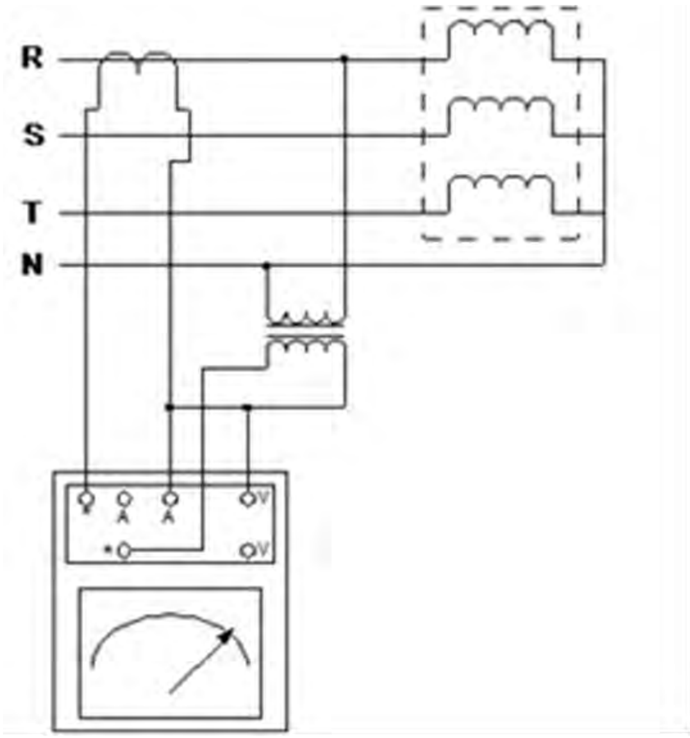
Kerja proyek 4:



Petunjuk:

1. Rencanakan sebuah proyek pengukuran daya pada sistem tiga fasa seperti gambar di atas.
2. Buat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran.
3. Percobaan pertama dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan motor listrik tiga fasa sebagai beban.
4. Percobaan kedua dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan tiga lampu Pijar 40 watt/220 V terhubung bintang sebagai beban.
5. Setelah data terkumpul, diskusikan dengan teman sekelompok untuk mengolah data tersebut. Hasilnya dipresentasikan di depan kelas.

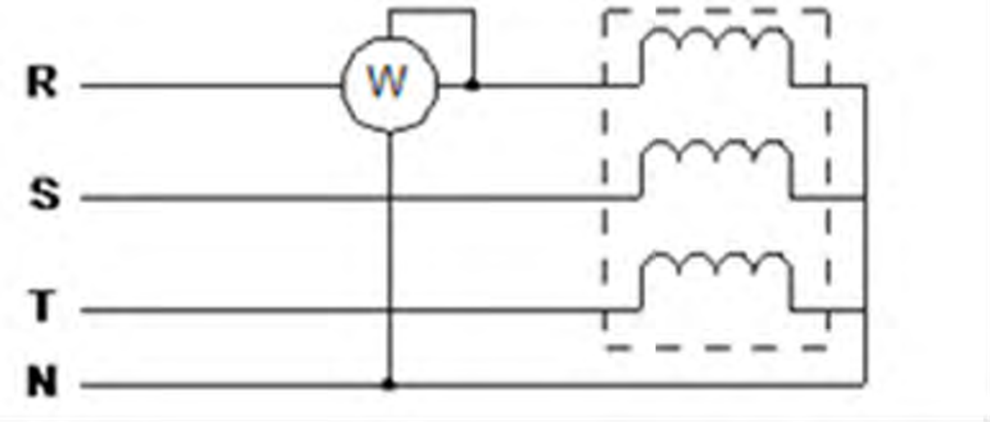
Kerja proyek 5:



Petunjuk:

1. Rencanakan sebuah proyek pengukuran daya pada sistem tiga fasa secara tidak langsung seperti gambar di atas.
2. Buat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran.
3. Percobaan pertama dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan motor listrik tiga fasa sebagai beban.
4. Percobaan kedua dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan tiga lampu Pijar 40 watt/220 V terhubung bintang sebagai beban.
5. Setelah data terkumpul, diskusikan dengan teman sekelompok untuk mengolah data tersebut. Hasilnya dipresentasikan di depan kelas

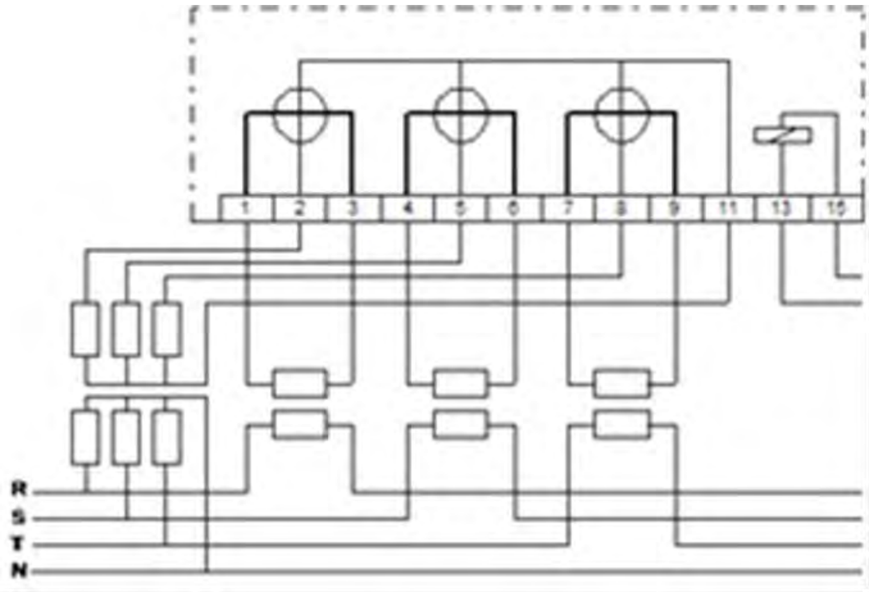
Kerja Proyek 6:



Petunjuk:

1. Rencanakan sebuah proyek pengukuran daya pada sistem tiga fasa secara langsung seperti gambar di atas.
2. Buat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran.
3. Percobaan pertama dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan motor listrik tiga fasa sebagai beban.
4. Percobaan kedua dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan tiga lampu Pijar 40 watt/220 V terhubung bintang sebagai beban.
5. Setelah data terkumpul, diskusikan dengan teman sekelompok untuk mengolah data tersebut. Hasilnya dipresentasikan di depan kelas

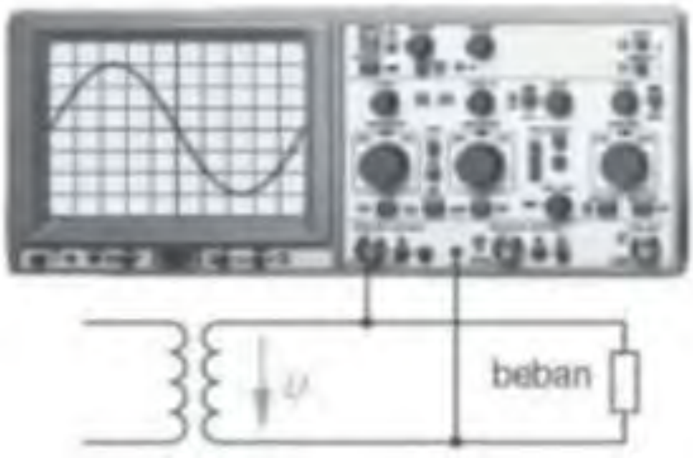
Kerja proyek 7:



Petunjuk:

1. Rencanakan sebuah proyek pengukuran energi listrik pada sistem tiga fasa secara tidak langsung seperti gambar di atas.
2. Buat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran.
3. Percobaan pertama dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan motor listrik tiga fasa sebagai beban. Lakukan pengukuran selama 30 menit.
4. Percobaan kedua dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan tiga lampu Pijar 40 watt/220 V terhubung bintang sebagai beban. Lakukan pengukuran selama 30 menit.
5. Setelah data terkumpul, diskusikan dengan teman sekelompok untuk mengolah data tersebut. Hasilnya dipresentasikan di depan kelas

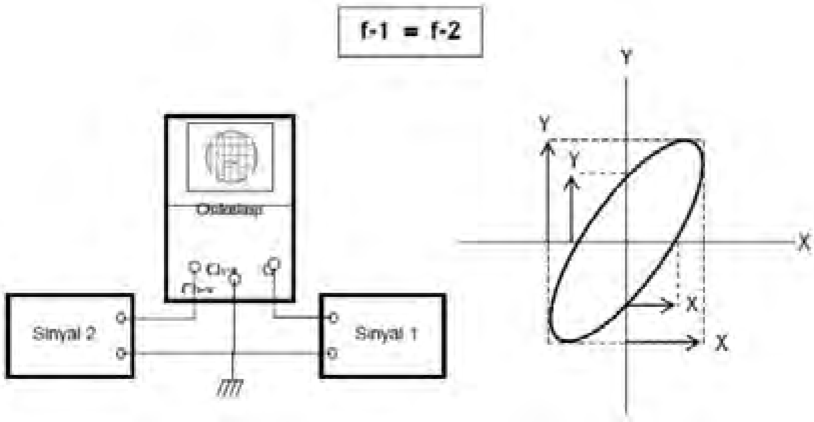
Kerja Proyek 8:



Petunjuk:

1. Rencanakan sebuah proyek pengukuran tegangan pada sistem arus bolak-balik dengan oskiloskop seperti gambar di atas.
2. Buat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran.
3. Percobaan pertama dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan beban lampu pijar 24 VAC.
4. Percobaan kedua dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: gunakan lampu Pijar 40 watt/220 V sebagai beban.
5. Setelah data terkumpul, diskusikan dengan teman sekelompok untuk mengolah data tersebut. Hasilnya dipresentasikan di depan kelas

Kerja Proyek 9:



Petunjuk:

1. Rencanakan sebuah proyek pengukuran dengan metodelissajous pada seperti gambar di atas.
2. Buat instrumen untuk mengumpulkan data pengukuran.
3. Percobaan pertama dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: atur perbedaan fasa antara sinyal 1 dan sinyal 2 sebesar 360^o.
4. Percobaan kedua dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: atur perbedaan fasa antara sinyal 1 dan sinyal 2 sebesar 270^o.
5. Setelah data terkumpul, diskusikan dengan teman sekelompok untuk mengolah data tersebut. Hasilnya dipresentasikan di depan kelas

DAFTAR PUSTAKA

Basic oscilloscope operationCreative Commons Attribution License,version 1.0. To view a copy of this license, visithttp://creativecommons.org/licenses

Cooper, W D. Trans. Sahat Pakpahan .(1985). Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran. Jakarta : Penerbit Erlangga.

David, A.D, (1994), *Electronic instrumentation and Measurements*, Prentice Hall, New Jersey

Errest O. Doebelin.(1983). Measurement System. Application and Design Singapore : Mc Graw – Hill International Book.

Joseph AEdminister,(2203),*Electric Circuit*, New York, Mc Graw Hill

Soedjana, S., Nishino, O. (1976). *Pengukuran dan Alat-alat Ukur Listrik.*Jakarta : PT. Pradnya Paramita

Sri Waluyanti,Dkk.,*Alat Ukur dan Teknik Pengukuran, Jilid I*, untuk SMK

Theraja, B.L., (1986), Electrical technology, Ram Nagar, New Delhi